

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

FAKULTA TEXTILNÍ

Studijní program: N3106 Textilní inženýrství

Studijní obor: Textilní a oděvní technologie

**HODNOCENÍ PAROPROPUSTNOSTI SMART TEXTILIÍ PRO  
SPORT**

**THE EVALUATION OF WATER VAPOR PERMEABILITY OF  
SMART TEXTILES FOR SPORT**

**Bc. Tereza Peichlová**

KOD/2011/06/26/MS

Vedoucí práce: prof. Ing. Luboš Hes, DrSc.

Rozsah práce: 81 stran práce a 12 stran přílohy

Počet obrázků: 21

Počet tabulek: 7

Počet grafů: 10

Počet příloh: 6

## **Originál zadání práce**

## **Prodloužení odevzdání**

## P r o h l á š e n í

Byla jsem seznámena s tím, že na mou diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, zejména § 60 – školní dílo.

Beru na vědomí, že Technická univerzita v Liberci (TUL) nezasahuje do mých autorských práv užitím mé diplomové práce pro vnitřní potřebu TUL.

Užiji-li diplomovou práci nebo poskytnu-li licenci k jejímu využití, jsem si vědoma povinnosti informovat o této skutečnosti TUL; v tomto případě má TUL právo ode mne požadovat úhradu nákladů, které vynaložila na vytvoření díla, až do jejich skutečné výše.

Diplomovou práci jsem vypracovala samostatně s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím diplomové práce a konzultantem.

Datum: 2. 5. 2011

Podpis:

## **Poděkování**

Chtěla bych touto cestou poděkovat především vedoucímu mé diplomové práce panu prof. Ing. Luboši Hesovi, DrSc. za jeho neustálou ochotu, odbornou pomoc, cenné rady a trpělivost při zpracování této práce a panu doc. Ing. Antonínu Havelkovi, CSc. za poskytnuté konzultace a rady k danému tématu.

## **Anotace**

Tato práce se zabývá problematikou hodnocení paropropustnosti smart textilií. V práci jsou podrobně popsány jednotlivé normy, vztahující se k hodnocení paropropustnosti a přístroje, které se k testování používají. V experimentální části jsou vybrané metody otestovány. Tyto metody jsou vyhodnoceny a naměřené hodnoty paropropustnosti vzájemně porovnány. V závěru práce je popsán návrh vybavení mezinárodní laboratoře pro testování paropropustnosti.

## **Klíčová slova**

Vlhkost, paropropustnost, inteligentní textilie, výparný odpor, skin model, gravimetrické metody, Permetest, PSM - 2.

## **Annotation**

This thesis deals with the evaluation of water vapor permeability of smart textiles. This thesis describes in detail the various standards related to the evaluation of water vapor permeability and devices that are used for testing. In experimental section, selected methods are tested. These methods are evaluated and measured values of water vapor permeability are compared. In the conclusion of this thesis is described the proposal of an international laboratory for testing of water vapor permeability.

## **Keywords**

Humidity, water vapor permeability, smart textiles, evaporative resistance, skin model, gravimetric method, Permetest, PSM - 2.

# Obsah

Úvod.....	12
REŠERŠE .....	13
1 Termofyziologický komfort textilií .....	18
2 Konvenční, funkční a inteligentní textilie .....	20
2.1 Vrchové textilie pro sportovní oděvy.....	22
2.1.1 Hustě tkané textilie .....	22
2.1.1.1 Tkanina Ventile .....	22
2.1.1.2 Tkaniny z mikro-vláknenných multifilů .....	23
2.1.2 Textilie se zátěry .....	23
2.1.3 Textilie s membránami .....	24
3 Normy pro hodnocení paropropustnosti .....	26
3.1 ISO 11092: 1993 .....	26
3.1.1 Předmět normy .....	26
3.1.2 Definice, značky a jednotky .....	26
3.1.3 Zkušební zařízení.....	27
3.1.4 Zkušební vzorky .....	28
3.1.5 Postup zkoušky a podmínky testování.....	28
3.1.6 Výpočet.....	29
3.2 ČSN 80 0855 .....	31
3.2.1 Předmět normy .....	31
3.2.2 Definice.....	31
3.2.3 Zkušební zařízení.....	31
3.2.4 Zkušební vzorky .....	31
3.2.5 Postup zkoušky a podmínky testování.....	32
3.2.6 Výpočet.....	32
3.3 BS 7209: 1990 .....	33
3.3.1 Předmět normy .....	33
3.3.2 Definice.....	33
3.3.3 Zkušební zařízení.....	33
3.3.4 Zkušební vzorky .....	33
3.3.5 Postup zkoušky a podmínky testování.....	34
3.3.6 Výpočet.....	35

<b>3.4 ISO/WD 15496: 1999.....</b>	<b>36</b>
3.4.1 Předmět normy .....	36
3.4.2 Definice .....	36
3.4.3 Zkušební zařízení.....	36
3.4.4 Zkušební vzorky .....	38
3.4.5 Postup zkoušky.....	38
3.4.6 Výpočet .....	39
<b>4 Měřicí přístroje, metody a zařízení.....</b>	<b>40</b>
<b>4.1 Gravimetrické metody .....</b>	<b>40</b>
<b>4.2 Metoda DREO.....</b>	<b>41</b>
<b>4.3 Skin model.....</b>	<b>42</b>
4.3.1 Měření propustnosti pro vodní páry za stacionárních podmínek .....	42
4.3.2 Měření propustnosti pro vodní páry za nestacionárních podmínek .....	43
<b>4.4 Permetest .....</b>	<b>44</b>
4.4.1 Měření výparného odporu a propustnosti pro vodní páru.....	44
4.4.2 Měření tepelného odporu textlie .....	46
<b>4.5 PSM - 2 .....</b>	<b>47</b>
<b>4.6 Metoda LYSSY .....</b>	<b>48</b>
<b>4.7 Tepelné figuríny .....</b>	<b>49</b>
<b>PRAKTICKÁ ČÁST.....</b>	<b>50</b>
<b>5 Testované vzorky .....</b>	<b>50</b>
<b>5.1 Tkaniny s vodoodpudivou úpravou.....</b>	<b>51</b>
<b>5.3 Softshelly bez membrány – dvouvrstvé lamináty .....</b>	<b>53</b>
<b>5.4 Softshelly s membránou – třívrstvé lamináty .....</b>	<b>54</b>
<b>5.5 Tkaniny s neporézní membránou – dvouvrstvé lamináty .....</b>	<b>55</b>
<b>5.6 Tkanina s mikroporézní membránou – dvouvrstvý laminát.....</b>	<b>57</b>
<b>6 Vyhodnocení jednotlivých metod.....</b>	<b>58</b>
<b>6.1 Skin modely - Permetest a PSM - 2 .....</b>	<b>58</b>
6.1.1 Permetest – standardní podmínky: $t = 23\text{ }^{\circ}\text{C}$ , $\varphi = 40\%$ .....	58
6.1.2 Permetest – nestandardní podmínky: $t = 35\text{ }^{\circ}\text{C}$ , $\varphi = 40\%$ .....	62
6.1.3 PSM - 2 – standardní podmínky: $t = 35\text{ }^{\circ}\text{C}$ , $\varphi = 40\%$ .....	63
6.1.4 Porovnání hodnot výparného odporu na Permetestu a na PSM - 2.....	64



<b>6.2 Gravimetrické metody .....</b>	<b>67</b>
6.2.1 Metoda s absorbentem .....	67
6.2.2 Porovnání klasické metody a metody invertované .....	68
<b>7.1 Permetest .....</b>	<b>70</b>
<b>7.2 PSM - 2 .....</b>	<b>70</b>
<b>7.3 Metody gravimetrické .....</b>	<b>71</b>
<b>7.4 Porovnání jednotlivých metod .....</b>	<b>72</b>
<b>7.5 Návrh vybavení mezinárodní laboratoře pro testování paropropustnosti ....</b>	<b>73</b>
<b>Závěr .....</b>	<b>75</b>
<b>Seznam použitých zdrojů .....</b>	<b>77</b>
<b>Seznam použité literatury a internetových zdrojů .....</b>	<b>77</b>
<b>Seznam ostatních pramenů .....</b>	<b>80</b>
<b>Seznam obrázků, grafů a tabulek .....</b>	<b>80</b>
<b>Seznam příloh .....</b>	<b>81</b>

## Seznam použitých zkratek a symbolů

<b>A</b>	plocha	[m <sup>2</sup> ]
<b>atd.</b>	a tak dále	
<b>cca</b>	přibližně	
<b>cm</b>	centimetr	
<b>CO<sub>2</sub></b>	oxid uhličitý	
<b>ČSN</b>	česká technická norma	
<b>DWR</b>	Durable Water Repellent (trvalá vodoodpudivá úprava)	
<b><math>\varphi</math></b>	relativní vlhkost	[%]
<b>g</b>	gram	
<b>H</b>	tepelný výkon	[W]
<b>h</b>	hodina	
<b><math>i_{mt}</math></b>	index propustnosti pro vodní páry	[-]
<b>ISO</b>	mezinárodní organizace pro standardizaci	
<b>K</b>	Kelvin	
<b>KES</b>	Kawabatův system hodnocení	
<b>L</b>	latentní teplo odpařování vody	[W·h/g]
<b><math>L_{wvp}</math></b>	index propustnosti pro vodní páry	[%]
<b>M</b>	hmotnost	[g]
<b>m</b>	metr	
<b>mm</b>	milimetr	
<b>μ</b>	micro	
<b>obr.</b>	obrázek	
<b>P</b>	relativní propustnost pro vodní páry	[%]
<b>p</b>	tlak	[Pa]
<b>Pa</b>	Pascal	
<b>PUR</b>	polyuretan	
<b>PTFE</b>	polytetrafluorethylen	
<b><math>R_{ct}</math></b>	tepelný odpor	[m <sup>2</sup> ·K/W]
<b><math>R_{et}</math></b>	výparný odpor	[m <sup>2</sup> ·Pa/W]
<b>t</b>	teplota	[°C]

<b>tj.</b>	to jest	
<b>tzv.</b>	tak zvaný	
<b><math>\tau</math></b>	čas	[h]
<b><math>v</math></b>	rychlost	[m/s]
<b>W</b>	Watt	
<b><math>W_d</math></b>	propustnost pro vodní páry	[g/(m <sup>2</sup> ·h·Pa)]
<b><math>WVP</math></b>	propustnost pro vodní páry	[g/(m <sup>2</sup> ·24 h)], [g/(m <sup>2</sup> ·h·Pa)]
<b>°C</b>	stupeň Celsia	

## Úvod

Tématem této diplomové práce je „Hodnocení paropropustnosti smart textilií pro sport“. Vybrala jsem si jej především z toho důvodu, že pracuji ve sportovní firmě a denně tak přicházím do styku s materiály, u kterých je právě hodnota paropropustnosti jedním z klíčových měřítek jejich kvality. Bohužel testování, ať již paropropustnosti nebo i jiných komfortních vlastností, je oblast, která je často v některých textilních firmách opomíjena a není jí věnovaná dostatečná pozornost.

Většina textilních firem si nechává testovat materiály na území Asie a neřeší dále metody a podmínky, za kterých testování probíhá. A právě rozdílné podmínky a metody testování často způsobují rozdílné informace pro výrobce a poté i pro zákazníka, který si daný produkt zakoupí a uvedeným hodnotám věří.

Pro správné pochopení dané problematiky bude na začátku této práce vypracovaná rešerše, která bude vycházet především z prací podobného tématu, či zahraničních článků. V teoretické části této práce budou podrobně popsány jednotlivé metody a normy, které se pro testování paropropustnosti užívají nejen na území Evropy, ale také v Asii. Dále pak budou podrobněji popsány jednotlivé přístroje a další měřicí zařízení.

Abychom mohli jednotlivé metody porovnat, je třeba vybrat více skupin materiálů, které se dají zařadit mezi „smart“ textilie, přesněji pak mezi textilie funkční. Samotné testování bude probíhat různými metodami a různými způsoby, vždy podle konkrétní normy. V poslední části této práce budou všechny způsoby porovnány a vyhodnoceny pomocí grafů či přehledných tabulek.

Výsledky z testování textilních vzorků budou využity pro návrh testovací laboratoře. Ta by měla být schopná otestovat nejen samotné textilní materiály, ale také celé oděvy, aniž by došlo k jejich zničení.

## REŠERŠE

První část této práce se zabývá zpracováním rešerše problematiky měření a testování propustnosti pro vodní páry (paropropustnosti) u textilních materiálů. Podkladem pro řešení dané problematiky je několik norem, které stanovují průběhy, způsoby a podmínky zkoušek pro měření paropropustnosti. Na podobné téma již bylo v minulosti napsáno a obhájeno několik bakalářských a diplomových prací, vydáno několik publikací a článků v odborných časopisech. Zde jsou tedy stručně popsány ty, které jsou dané problematice nejbližší. Poznatky z ostatních publikací jsou uvedené v následujících kapitolách.

### **Miloslava Reková - Vliv struktury vzorku na měření paropropustnosti dle normy ISO 11092**

V práci Miloslavy Rekové je zkoumán vliv struktury vzorku na měření paropropustnosti dle normy ISO 11092: „Zjišťování fyziologických vlastností – měření tepelného odporu a výparného odporu za stálých podmínek (zkouška pocení vyhřívanou deskou)“. Od této normy se právě při měření hrubých vzorků v současnosti upouští. Pro vzorky s hladkým povrchem je tato norma dostačující a může být tedy bez problému aplikována. [20]

V experimentální části této práce bylo provedeno měření na šesti vzorcích, u nichž byla stanovena povrchová charakteristika na přístroji KES. Poté bylo realizováno měření dle normy ISO 11092 a také pak nové tzv. dvojité měření, kdy každý vzorek byl celkové proměřen třikrát. U strukturovaných vzorků byl při dvojitém měření patrný jistý vzrůst výparného odporu, což bylo pravděpodobně způsobeno rozrušením laminární vrstvy. Dodatečný odpor vzduchové vrstvy mezi textiliemi bylo možno při měření na přístroji Permetest zanedbat, neboť v důsledku zakřiveného povrchu hlavice vzniká normálová síla, která stlačuje jednotlivé vrstvy k sobě a tím výrazně snižuje vliv vzduchové mezivrstvy. Výchozí teoretické poznatky k této práci obsahuje zdroj [14].

Dle uvedených výsledků tento nový způsob tzv. dvojitého měření umožňuje dosažení postačující přesnosti měření i u vzorků, které mají hladký povrch. Výsledky z této bakalářské práce naznačují, že norma ISO 11092 pro strukturované vzorky poskytuje poněkud nižší přesnost měření. [20, 11]

## **Kristýna Holemá - Vliv teploty a vlhkosti vzduchu na měření termofyziologických vlastností textilií pomocí skin modelu**

Autorka se v této bakalářské práci věnuje měření výparného odporu textilií na skin modelu Permetest při teplotách:  $t = 22\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $28\text{ }^{\circ}\text{C}$  a  $35\text{ }^{\circ}\text{C}$  a relativních vlhkostech:  $\varphi = 40\%$  a  $65\%$ . V práci byl také proveden průzkum u českých výrobců sportovního oblečení za účelem zjištění, jakým způsobem testují komfort svých výrobků. [16]

V experimentální části práce je uveden způsob kalibrace přístroje Permetest a vypočtení kalibrační konstanty pro měření jednotlivých vzorků při různých teplotách. Dle této teorie by díky kalibraci měl být vliv konkrétního rozdílu parciálních tlaků odstraněn. To platí i pro výparné teplo, které se zvyšující se teplotou slabě klesá. [16]

Zůstává však závislost termofyziologických vlastností měřené textilie na porositě a součiniteli difuze vlhkosti, které v důsledku bobtnání (zejména u přírodních vláken) závisí na vlhkosti vzduchu, a částečně i na jeho teplotě. Zmíněné závislosti byly experimentálně zjišťovány. [16]

V experimentální části byly proměřeny tři typy materiálů: 100 % bavlna, 100 % polyester a 100 % polypropylén. Všechny vzorky byly bez membrány a úprav. Měření probíhalo na přístroji Permetest, který byl kalibrován (při teplotě  $t = 23\text{ }^{\circ}\text{C}$  a relativní vlhkosti  $\varphi = 40\%$ ) a poté vložen do klimatizované komory. [16]

Po ustálení podmínek byla provedena další kalibrace. Poté vždy trvalo delší dobu, než se podmínky v klimatizované komoře ustálily a mohlo být provedeno měření. [16]

Z analýzy plyne, že vliv rozdílu parciálních tlaků vodní páry i vliv slabé změny výparného tepla s teplotou na údaj přístroje provozovaného mimo klimatickou komoru je kompenzován kalibračním postupem. Při měření textilií z přírodních materiálů se však pro dosažení větší přesnosti doporučuje použití takové kalibrační tkaniny, která bude mít stejné materiálové složení. To bylo dobře patrné například u tkaniny bavlněné, kde došlo k bobtnání vláken. [16]

### **Martina Novotná - Paropropustnost membránových textilií s repelentní úpravou po expozici vodní sprchou**

Na rozdíl od předchozích uvedených prací, se autorka této práce zabývá výzkumem textilií, které již membránu a nějakou repelentní úpravu mají. Experiment je prováděn na přístroji Permetest po různých stupních praní a paropropustnost je hodnocena pomocí výparného odporu. [18]

Z výsledků měření prezentovaných v této práci lze usoudit, že hodnoty naměřené za sucha odpovídají parametrům garantovaných výrobcem. Při měření za mokra však hodnoty zdánlivého výparného odporu radikálně klesají a v závislosti na tom relativní ochlazovací efekt prudce stoupá, a to u všech měřených vzorků. [18]

(Zdánlivého proto, že výsledný odpar pochází z měřicí hlavice a zároveň ze zavlhčeného materiálu. Relativní ochlazovací efekt zde nahrazuje pojem relativní paropropustnost – viz výsledky měření paropropustnosti vlhkých textilií v práci [13]).

Podle výsledků provedeného experimentu se u testovaných textilií již po třech pracích cyklech změnily vlastnosti za mokra. Zmíněný zdánlivý výparný odpor u nich prudce klesl, ochlazovací efekt se zvýšil, což má vliv na vyšší ochlazení nositele, které způsobí diskomfort. Jediné, co nemělo vliv na vlastnosti materiálu, bylo chemické čištění. Výsledky experimentu potvrzují, že vzorky, které jsou třívrstvé a mají vyšší hmotnost, mají vyšší odolnost při praní a nemění tak znatelně své vlastnosti při slabém dešti i po opakování pracích cyklů, jako například vzorky dvouvrstvé. [18]

### **Petr Archalous - Transport vlhkosti sendvičovým materiálem hasičských uniforem**

P. Archalous řešil ve své práci přestup vlhkosti sendvičovým materiálem hasičských uniforem. V experimentální části testoval přestup vlhkosti klasickou gravimetrickou metodou a zároveň i metodou invertovanou, kdy celou soustavu pro měření přestupu vlhkosti otočil testovanou textilií směrem dolů. [1]

Dle výsledků experimentu P. Archalouse lze usoudit, že u klasické gravimetrické metody jsou úbytky hmotnosti více ovlivněny relativní vlhkostí než teplotou. Měření není zcela přesné, což ovlivňuje především vzduchová mezera mezi textilií a vodní hladinou. V průběhu měření postupně tloušťka vzduchové vrstvy roste, tím pádem se u velmi propustné textilie rychleji zvětší vzduchová mezera nad vodní hladinou. Díky tomu se bude textilie jevit méně propustnou než je ve skutečnosti. [1]

Tento problém řešil P. Archalous ve své práci tím, že ve spolupráci s L. Hesem a s P. Vozkovou vytvořil invertovanou gravimetrickou metodu. Kelímky opatřil PTFE polopropustnou folií, která je schopna zadržet vodu v kapalně formě a propouštět ji pouze ve formě páry. Na ni upevnil testovaný vzorek a otočil celou soustavu směrem dolů. Poté kelímky doplnil definovaným množstvím destilované vody a celou soustavu testoval jako u předchozí metody. [1]

Tímto postupem odstranil vliv vzduchové mezery, která v tomto případě zůstala po celou dobu konstantní. Proces vypařování kapaliny byl tímto urychlen. U invertované gravimetrické metody byly jednotlivé vzorky vystaveny větší výparné ploše, proto byly zaznamenány větší úbytky hmotnosti jednotlivých vzorků než v předcházející metodě. Invertovaná gravimetrická metoda byla dle výsledků experimentu P. Archalouse pro tato měření vhodnější. A právě vliv vzduchové mezery u gravimetrických metod bude i v experimentální části této práce ověřován. [1]

### **David Staněk - Hodnocení komfortu ochranných oděvů příslušníků jednotek požární ochrany za standardních a extrémních podmínek při zásahu.**

Autor se ve své diplomové práci zaměřuje na testování a hodnocení komfortu zásahových obleků za různých klimatických podmínek. Jednotlivé textilie jsou testovány pomocí různých metod pro zkoušení zásahových obleků určených pro hasiče. V práci je shrnut vývoj zásahových obleků od jejich prvních prototypů až po dnešní obleky, které již splňují dané standardy. [22]

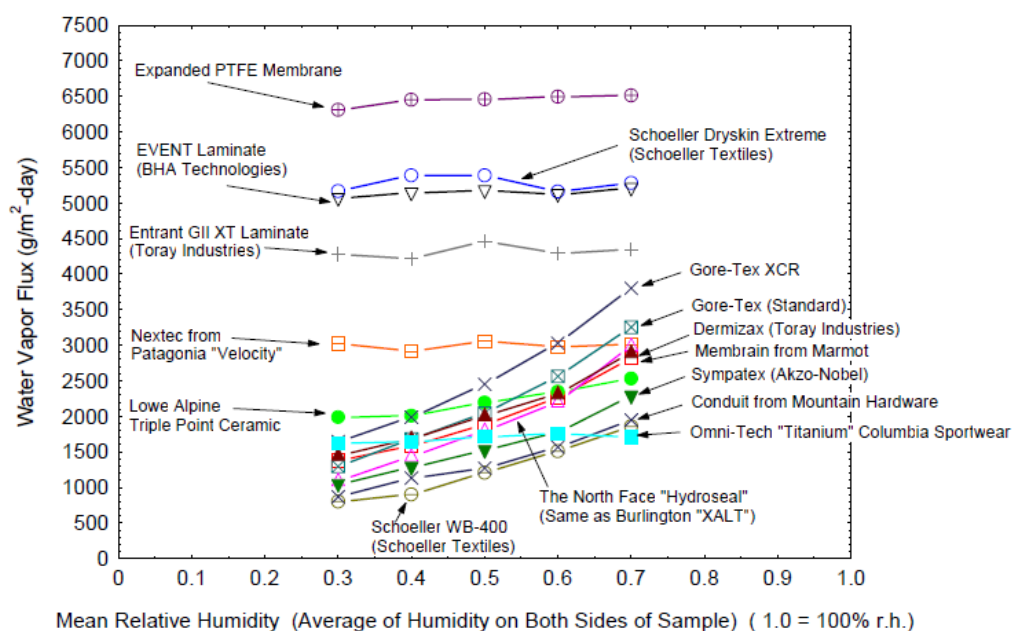


Jsou zde zmíněny klady a zápory při samostatném použití a návaznost jednotlivých vrstev ochranného oděvu. Zároveň autor přináší poznatky, jak docílit vyššího oděvního komfortu nad rámec normy ČSN EN 496: 2006 při použití nových materiálů. [22]

### Phil Gibson - Srovnání hodnot paropropustnosti u vrchových materiálů jednotlivých obchodních značek.

Jeho studie pojednává o vlivu relativní vlhkosti na měření paropropustnosti u různých druhů materiálu. V rámci projektu bylo otestováno cca 15 materiálů s různými typy membrán (mikroporézní i neporézní membrány). Testování bylo provedeno při teplotě 30 °C a průtoku plynu 2 m<sup>3</sup>/min. Při tomto dynamickém testování byla změřena koncentrace vodní páry na výstupu a výsledky byly zobrazeny jednak jako tok vodní páry g/(m<sup>2</sup>·24 h) viz graf 1 a také jako výparný odpor textilií. [8]

Podle výsledků bylo zjištěno, že některé materiály (jako například Sympatex, Gore-Tex, Dermizax ...) mají mnohem lepší hodnoty propustnosti pro vodní páry, jsou-li ve vlhkém prostředí, nežli v prostředí s nižší relativní vlhkostí. Většina dalších materiálů (Omni-Tech „Titanium“, EVENT Laminate,...) či mikroporézní membrány mají téměř konstantní výparný odpor bez ohledu na podmínky prostředí. [22]



Graf 1: Tok vodní páry [g/(m<sup>2</sup>·24 h)] [8]

## 1 Termofyziologický komfort textilií

Dříve, než se budeme zabývat přímo termofyziologickým komfortem textilií, měli bychom si vysvětlit význam slova komfort. V literatuře se setkáváme s několika definicemi, jako např.: „*Komfort je stav organismu, kdy jsou fyziologické funkce organismu v optimu, a kdy okolí včetně oděvu nevytváří žádné nepříjemné vjemy vnímané našimi smysly. Subjektivně je tento pocit brán jako pocit pohody. Nepřevládají pocity tepla ani chladu, je možné v tomto stavu setrvat a pracovat.*“ [14]

Komfort můžeme rozdělit na několik částí: komfort psychologický, senzorický, termofyziologický a patofyziologický. Ne vždy se povede danému textilnímu výrobku uspokojit všechny složky komfortu a ne vždy je toto uspokojení také žádoucí. [14]

Míra dosažení komfortu v jednotlivých oblastech je ovlivněna především účelem použití daného textilního výrobku a také jeho nositelem. Například staří či nemocní lidé budou mít na jednotlivé složky komfortu odlišné nároky než například mladí lidé. Zároveň se požadavky na komfort mění dle klimatických podmínek, dle druhu oděvu, atd. [14]

Tato práce je zaměřena přímo na konkrétní vlastnost textilií, a to propustnost pro vodní páry. Proto se v práci budeme nadále věnovat pouze termofyziologickému komfortu textilií. V současnosti existují dva základní přístupy k hodnocení termofyziologického komfortu textilií. [14, 15]

První způsob tvoří přístroje, jež přímo charakterizují příslušný fyzikální děj pomocí naměřených hodnot, ale bez přímého vztahu k podmínkám, které platí v systému: pokožka – oděv – prostředí. [14, 15]

Druhý, v současnosti mnohem více využívaný způsob, má přímý vztah k systému: pokožka – oděv – prostředí a je tedy schopen daleko přesněji zhodnotit skutečný přenos tepla a vlhkosti v tomto systému. Měření probíhá za podmínek, které jsou blízké fyziologickému režimu lidského těla. [14, 15]

Základním principem je využití tzv. „Skin modelu“ (modelu lidské pokožky). Pro určení termofyziologického komfortu pak potřebujeme dva základní parametry a to: tepelný a výparný odpor. [14]

Tepelný odpor charakterizuje přenos tepla a odpor výparný přenos vlhkosti. Výparný odpor také hraje důležitou roli při ochlazování těla nositele odpařováním potu z povrchu pokožky. Míra ochlazení je pak ovlivněna propustností oděvní soustavy pro vodní páry a rozdílem parciálních tlaků vodních par na povrchu pokožky a v okolí. [14]

Jako parametr se zde využívá výparný odpor, který díky odpaření potu charakterizuje tepelné účinky vnímané pokožkou. [14]

Celkový odpor (ať již výparný nebo tepelný) obsahuje odpor vlastního oděvu a odpor mezní vrstvy, která hraje důležitou roli v celém systému: pokožka – oděv – prostředí. Výparný odpor lze také hodnotit pomocí relativní propustnosti textilií pro vodní páru, jejíž hodnota je na rozdíl od výparného odporu přímo úměrná propustnosti textilie pro vodní páry. [14, 15]

## 2 Konvenční, funkční a inteligentní textilie

V dnešní době se hojně setkáváme s pojmy funkční textilie, „smart“ nebo-li „inteligentní“ textilie, a to nejen v oděvním průmyslu, ale i v různých jiných oblastech, jako je například stavebnictví, letecký průmysl, zdravotnictví atd.

Vzhledem k tomu, že je možné textilie rozdělit do více kategorií dle různých kritérií, bude v následujícím textu popsáno pouze rozdělení textilií podle funkčnosti. Dle těchto kritérií můžeme textilie rozdělit na:

- konvenční,
- funkční,
- smart textilie = inteligentní textilie. [5]

V rámci těchto kategorií lze textilie ještě dělit na technické a oděvní. Tato práce je však zaměřena pouze na textilie pro sport, tudíž kategorii oděvních textilií. Proto se dále budeme zabývat pouze jimi. Konvenční textilie nachází uplatnění jako klasické oděvní textilie, které plní pouze základní funkce, jako je ochrana proti běžnému prostředí a funkce estetická. [5]

Oproti tomu poskytují textilie funkční přidanou funkci nad rámec funkcí základních. Tato funkce je stále stejná bez ohledu na podmínky okolního prostředí. Díky jejich přístupnosti pro spotřební trh se textilie funkční stávají ve vnímání spotřebitelů konvenčními (např. elastomerová vlákna, dutá vlákna, atd.). [5]

Poslední skupinu textilií tvoří inteligentní textilie, mezi něž řadíme materiály a struktury, které dokážou nějakým způsobem reagovat na vnější podněty. Jejich odezva může být mechanická, chemická, tepelná, elektrická či magnetická dle jejich typů může být vratná, či nevratná. Podle způsobu jejich reakce na vnější podněty se dělí do třech kategorií a to:

- pasivní - reagující pouze nevratně,
- aktivní - schopné rozeznat změny vnějších impulsů a reagovat vratně, avšak vždy stejným způsobem,
- velmi inteligentní - schopné nejen reakce na vnější podněty, ale i vrácení se do původního stavu a přizpůsobení se danému podnětu. [4]

Názory na to, kde je hranice mezi pojmy „inteligentní“ a „funkční“, se do jisté míry liší. Je to dáno především novými technologiemi, které textilní průmysl přináší. Proto se můžeme setkat s tím, že v některé literatuře, či odborných článcích, se například membrány řadí mezi textilie inteligentní [21] a v některých je nalezneme zařazené mezi textilie funkční [5].

Proto je v názvu této práce použit pojem „smart“ textilie, který tak zde označuje veškeré textilie, které poskytují ještě nějakou další funkci nad rámec funkcí běžných, nebo-li označuje celou skupinu textilií, mezi které nepatří textilie konvenční.

## **2.1 Vrchové textilie pro sportovní oděvy**

Textilie, které byly využity pro experimentální účely této práce, se používají především jako vrchní materiály pro sportovní aktivity.

Chceme-li, aby materiál, který používáme na vrchní oděvy (bundy) uspokojil naše očekávání a my se v daném oděvu cítily komfortně, je třeba, aby splňoval několik základních parametrů. Především by měl uživatele ochránit před nepřízní počasí, tj. před deštěm, sněhem, větrem a chladem, a zároveň by se uživatel v takovém oděvu neměl potit.

Oděvní materiál by měl být tedy větruodolný, voděodolný či nepromokavý a zároveň paropropustný. Podle účelu, ke kterému je daný oděv určen, by pak měl plnit i funkce další, jako je například tepelná izolace u zimní bundy, atd.

Těchto funkcí můžeme dosáhnout několika způsoby:

- velmi hustou dostavou,
- zátěry či chemickými úpravami povrchu,
- membránami. [5]

### **2.1.1 Hustě tkané textilie**

#### **2.1.1.1 Tkanina Ventile**

Mezi první materiály, které byly nepromokavé a zároveň paropropustné, patřila tzv. tkanina „Ventile“. Její vznik spadá do období druhé světové války, kdy hrozil nedostatek lnu a kdy britská armáda řešila problém s přežitím ve studené vodě. V tu chvíli byl potřebný oděv, který udrží teplo a sucho nositele po co nejdelší dobu. Vědci z ústavu Shirley v Manchesteru proto vyvinuli tkaninu s názvem „Ventile“. A roku 1943 se začala i hromadně vyrábět. [23]

Tkanina Ventile je vyrobena z bavlněných vláken a je velmi hustě tkaná ve vazbě oxford. I přesto, že není laminovaná s další vrstvou, zajišťuje vynikající odolnosti oproti povětrnostním vlivům, vlhkosti. Zároveň poskytuje dostatečnou paropropustnost. V současnosti se z tohoto materiálu vyrábí oděvy pro armádní, lékařské a pracovní účely. [5]

### **2.1.1.2 Tkaniny z mikro-vláknenných multifilů**

Jedná se o materiály, které se vyrábí z mikrovláknenných multifilů o jemnosti nižší než 10  $\mu\text{m}$ . Pro výrobu se používají multifily z hydrofóbních polyamidových nebo polyesterových vláken. Poté se na ně ještě nanáší silikonová nebo fluorkarbonová úprava. Tyto materiály mají vodní sloupec většinou do 1 m. [5]

### **2.1.2 Textilie se zátěry**

Další skupinu tvoří materiály, na které je nanesen tenký film, který je však silnější než membrána. Zátěry mohou být buď paropropustné nebo zcela nepropustné. [5]

#### **Nepropustné zátěry**

Vrchové materiály jsou zatírány latexy, pryskyřicemi, polyuretanovým filmem, atd. Ty vytvoří na povrchu textilie pevný pružný film, který je bohužel zcela nepropustný a tudíž pro nošení nevhodný a nehygienický. U oděvu nachází uplatnění spíše jen v určitých částech, jako je například zesílení v kolenní části. [5]

#### **Paropropustné zátěry**

Paropropustné zátěry už mají podobnou funkci jako membrány, liší se od nich především větší tloušťkou a mírou adheze k vláknům, nižší cenou, ale také nižší hodnotou paropropustnosti. Lze je rozdělit do několika skupin:

- **Hydrofilní zátěry**

K jejich přípravě se používá polyuretan modifikovaný polyvinylalkoholem, nebo polyuretan modifikovaný polyoxidem. Tyto modifikace mají chemickou afinitu pro vodní páry, které umožní její difúzi přes amorfní oblast polymeru. Zároveň by měla být zachována pružnost materiálu, trvanlivost a nerozpustnost ve vodě. [5]

- **Mikroporézní zátěry**

Přímo na textilií se nanáší v tloušťce cca 25 – 50  $\mu\text{m}$  film z polyuretanu, nebo aminokyselinových polymerů. Během nanášení se uvolňuje  $\text{CO}_2$  a tím se nanesený film mění v houbovitou pórovitou strukturu s póry o průměru 0,2 – 0,3  $\mu\text{m}$ . [5]

- **Hydrofóbní zátěry - DWR úprava**

DWR (= Durable Water Repellent) úprava, označuje trvanlivou, vodoodpudivou úpravu. Na textilií se pomocí této úpravy vytvoří tenký film, který díky své elasticitě a uzavřeným orientovaným uspořádáním molekul zamezuje vniknutí vody, jednotlivé kapky vody pak po povrchu textilie hned stékají. Tento jev se označuje jako tzv. „odperlující efekt“. Při mechanickém namáhání se většinou vrstva poruší, vypere se a je třeba ji znovu aktivovat. Většinou se používá roztok z perfluoralkanů. Díky němu se DWR úprava obnoví. [5, 6]

### **2.1.3 Textilie s membránami**

Další možností, jak docílit nepromokavosti, voděodolnosti a zároveň dostatečné paropropustnosti materiálu, je použití membrány. Samotnou membránu tvoří tenká vrstva (cca 0,2 – 10  $\mu\text{m}$ ) polymerního materiálu. Také membrány můžeme rozdělit do několika skupin:

- **Neporézní membrány**

U neporézních membrán se transport molekul páry realizuje fyzikálně-chemickou cestou, kdy molekuly páry migrují skrz polymer na opačný povrch (lící stranu textilie) a odsud se vypaří do okolního prostředí. Pro výrobu takovéto membrány se využívá většinou fólie z kopolymeru (například u membrány Sympatex tvoří kopolymer 70 % polyesteru a 30 % polyetyleny). [3, 5]

- **Mikroporézní membrány**

Druhou skupinu tvoří membrány, které obsahují ve své struktuře mikroskopické póry. Ty umožní odvod vodní páry. Uspořádání pórů je většinou náhodné, mají lomené dráhy, které zajistí nejen odvod vodní páry pryč od těla nositele, ale zároveň i dobrou větruodolnost z vnější strany. Povrchové napětí v kontaktu s vodou je vysoké, aby mohla vodní pára skrz pór projít. Mezi nejznámější mikroporézní membrány patří membrána Gore-Tex, která je tvořena polytetrafluoretylenovým filmem. [5, 19]



Díky své velmi malé tloušťce je potřeba membránu ochránit před mechanickým poškozením, proto se většina membrán na vrchní materiál laminuje. Laminování lze provést několika způsoby, a to:

- pouze na vrchový nebo podšívkový materiál – tzv. dvouvrstvý laminát,
- na vrchový i podšívkový materiál zároveň – tzv. třívrstvý laminát,
- volně vložená (tzv. Z-liner) – membrána je vrstvená na pleteninu, která je volně vložená mezi vrchový a podšívkový materiál. [5, 10]

Samotná laminace se provádí pomocí polyuretanového pojiva, a to buď v ploše, nebo bodově pomocí horkého válce, ultrazvukem, atd. Aby membrána plnila správně své funkce, je třeba, aby zůstala na vnější straně suchá, což zajistí např. výše zmíněná DWR úprava, která se nanáší na vrchní vrstvu celého oděvního materiálu. DWR úprava pronikne vlákny a sníží povrchové napětí textilie. [10]

V důsledku toho se voda nevsakuje do materiálu, ale tvoří na jeho povrchu kapky, které mohou snadno stékat, tzv. „odperlují“. Veškerá vlhkost způsobená pocením nositele pak kondenzuje na vnitřním povrchu membrány a díky vlhkostnímu gradientu se odpaří z oděvu směrem do okolního prostředí. [10]

## 3 Normy pro hodnocení paropropustnosti

### 3.1 ISO 11092: 1993

**Textilie – Zjišťování fyziologických vlastností – měření tepelného a výparného odporu za stálých podmínek**

#### 3.1.1 Předmět normy

Předmětem této normy jsou jednotlivé metody pro měření tepelného a výparného odporu za stacionárních (ustálených) podmínek. Je vhodná nejen pro měření různých textilií, pěn, nátěrů, kůží, ale i pro sestavy vrstvených materiálů, hotových výrobků, spacích pytlů nebo např. prošívaných dek. [26]

#### 3.1.2 Definice, značky a jednotky

**Tepelný odpor  $R_{et}$  [ $\text{m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$ ]:** Vyjadřuje rozdíl teplot mezi dvěma povrchy materiálu, děleným výsledným tepelným tokem na jednotku plochy ve směru gradientu. [26]

**Výparný odpor  $R_{ev}$  [ $\text{m}^2 \cdot \text{Pa}/\text{W}$ ]:** Vyjadřuje rozdíl tlaku vodních par mezi dvěma povrchy materiálu, dělený výsledným výparným tepelným tokem na jednotku plochy ve směru gradientu. Výparný odpor  $R_{ev}$ , vyjádřený v  $\text{m}^2 \cdot \text{Pa}/\text{W}$ , je veličina specifická pro textilní materiály nebo kompozity a je definována jako „latentní“ výparný tepelný tok, procházející danou plochou, odpovídající ustálenému použitému tlakovému gradientu páry. [26]

**Index propustnosti vodních par  $i_{mt}$  [-]:** Vyjadřuje poměr tepelného a výparného odporu. Index  $i_{mt}$  je bezrozměrné číslo od 0 do 1, přičemž hodnota 0 znamená nekonečný výparný odpor a materiál s hodnotou 1 má stejný výparný odpor jako vrstva vzduchu o stejné tloušťce. [26]

**Propustnost vodních par  $W_d$  [ $\text{g}/(\text{m}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{Pa})$ ]:** Jedná se vlastnost textilního materiálu nebo kompozitu, která je závislá na výparném odporu a teplotě. [26]

### 3.1.3 Zkušební zařízení

#### Měřicí jednotka s regulací teploty a přívodu vody:

Tvoří ji kovová porézní deska o tloušťce cca 3 mm a minimální ploše  $0,04 \text{ m}^2$  o definovaném koeficientu sálavého vyzařování. Dále pak kovový vodivý blok s elektrickým ohřevacím elementem, na kterém je deska připevněná. Desku obklopuje tepelný chránič, který vychází z otvoru v měřicím stole. K porézní desce vedou kanálky, kterými je přiváděna voda z dávkovacího zařízení. [26]

Povrch zkušebních vzorků musí být ve stejné rovině, jako je měřicí stůl. Povrchová teplota měřicí jednotky musí být konstantní  $\pm 0,1 \text{ K}$ , k tomu slouží regulátor teploty s teplotním čidlem. Také tepelný výkon musí být stanovitelný vhodným měřicím zařízením v celém použitelném rozsahu  $\pm 2 \%$ . [26]

K povrchu porézní kovové desky je pomocí dávkovacího zařízení přiváděna voda předeřtá na teplotu měřicí jednotky. Díky spínači hladiny je zachována konstantní rychlost odpařování. [26]

#### Tepelný chránič s regulací teploty:

Tepelný chránič musí být zhotoven z materiálu s vysokou tepelnou vodivostí, nejčastěji z kovu o tloušťce minimálně 15 mm, mezera mezi jeho vrchní stranou a kovovou deskou nesmí být větší než 1,5 mm. Teplota chrániče měřená teplotním čidlem musí být stejná jako má měřicí jednotka v rozmezí  $\pm 0,1 \text{ K}$ . [26]

#### Zkušební prostor:

Teplota a vlhkost vzduchu musí být regulovaná, klimatizovaný vzduch proudí potrubím nad a rovnoběžně s vrchní částí měřicí jednotky a tepelným chráničem. Opět zde platí přesnost u teploty  $\pm 0,1 \text{ K}$  a u relativní vlhkosti vzduchu  $\pm 3 \%$  po celou dobu zkoušky. U hodnot pod  $100 \text{ m}^2 \cdot \text{Pa/W}$  stačí hodnoty teploty s přesností  $\pm 0,5 \text{ K}$ . [26]

Také rychlost proudu vzduchu měřená při teplotě  $20 \text{ °C}$  cca 15 mm nad měřicím stolem by se měla pohybovat okolo 1 m/s, odchylka rychlosti během zkoušky nesmí přesáhnout hodnotu  $\pm 0,05 \text{ m/s}$ . Proud vzduchu by měl vykazovat určitý stupeň turbulence, vyjádřený variačním koeficientem (cca 0,05 – 0,1). [26]

### 3.1.4 Zkušební vzorky

Z každého materiálu je potřeba vystříhnout nejméně 3 vzorky, které je třeba před samotným měřením minimálně 12 hodin klimatizovat při dané teplotě a vlhkosti. U vzorků, které mají tloušťku vyšší než 5 mm, je třeba speciální postup, aby se zabránilo případným tepelným ztrátám a úniku vodních par. [26]

### 3.1.5 Postup zkoušky a podmínky testování

#### Stanovení konstant přístroje:

Konstanty zahrnují výparný odpor uvnitř vlastní měřicí jednotky spolu s výparným odporem vzduchové mezní vrstvy, která k povrchu testovaného vzorku přiléhá. Konstanty  $R_{ct0}$  a  $R_{et0}$  jsou tedy hodnotami nezakryté desky. [26]

#### Stanovení konstanty pro měření tepelného odporu:

$$R_{ct0} = \frac{(t_m - t_s) \cdot A}{H - \Delta H_c} \quad [m^2 \cdot K/W] \quad (1)$$

$t_m = 35 \text{ °C}$                       povrchová teplota měřicí jednotky

$t_a = 20 \text{ °C}$                       teplota vzduchu

$v_a = 1 \text{ m/s}$                       rychlost vzduchu

$\varphi = 65 \text{ %}$                       relativní vlhkost

$H$                                       tepelný výkon [W]

$\Delta H_c$                                 korekce pro tepelný výkon při měření  $R_{ct}$

$A$                                       plocha měřicí jednotky [ $m^2$ ]

#### Stanovení konstanty pro měření výparného odporu:

$$R_{et0} = \frac{(p_m - p_a) \cdot A}{H - \Delta H_c} \quad [m^2 \cdot Pa/W] \quad (2)$$

$t_m = 35 \text{ °C}$                       povrchová teplota měřicí jednotky

$t_a = 35 \text{ °C}$                       teplota vzduchu

$p_m = 5620 \text{ Pa}$                       parciální tlak vodních par přímo na povrchu měřicí jednotky

$p_s = 2250 \text{ Pa}$	parciální tlak vodních par při $\varphi = 40\%$
$v_a = 1 \text{ m/s}$	rychlost vzduchu
$\varphi = 40 \%$	relativní vlhkost
$H$	výhřevnost dodávaná měřicí jednotce [W]
$\Delta H_e$	korekce pro výhřevnosti při měření $R_{et}$
$A$	plocha měřicí jednotky [ $\text{m}^2$ ]

### Referenční materiál a recalibrace:

Před samotným měřením je třeba ověřit použitelnost přístroje kalibračním materiálem. Abychom dosáhli přesných výsledků měření, je třeba v pravidelných intervalech přezkoušet konstanty přístroje  $R_{ct0}$  a  $R_{et0}$  a zároveň zkontrolovat rychlost proudění nad zkoušenou textilií. [26]

### Postup zkoušky:

- 1) Vzorky se umístí na zkušební jednotku tak, aby ležely rubní stranou směrem k měřicí jednotce. Vzorky by měly ke zkušební jednotce přiléhat přímo, bez bublin a pomačkání.
- 2) Chceme-li proměřit více vrstev naráz, musíme zajistit, aby mezi jednotlivými vrstvami nebyly vzduchové mezery.
- 3) Podle toho, zda měříme  $R_{et}$  nebo  $R_{ct}$  seřídíme  $v_a$ ,  $t_a$ ,  $t_m$  a  $\varphi$  na správné hodnoty a počkáme, až se všechny veličiny ustálí. Poté lze začít samotné měření. [26]

### 3.1.6 Výpočet

Tepelný odpor:

$$R_{ct} = \frac{(t_m - t_a) \cdot A}{H - \Delta H_c} - R_{ct0} \quad [\text{m}^2 \cdot \text{K/W}] \quad (3)$$

Výparný odpor:

$$R_{et} = \frac{(p_m - p_a) \cdot A}{H - \Delta H_c} - R_{et0} \quad [\text{m}^2 \cdot \text{Pa/W}] \quad (4)$$

Index propustnosti pro vodní páry:

$$i_{mt} = S \cdot \frac{R_{ct}}{R_{et}} \quad [-], \text{ kde } S = 60 \text{ Pa/K} \quad (5)$$

Propustnost pro vodní páry:

$$W_d = \frac{1}{R_{et} \cdot L} \quad [g/(m^2 \cdot h \cdot Pa)] \quad (6)$$

$L$  latentní (výparné) teplo odpařování vody [26]

## 3.2 ČSN 80 0855

### Zjišťování relativní propustnosti vodních par plošnou textilií

#### 3.2.1 Předmět normy

Norma popisuje postup při zkoušce zjišťování propustnosti textilií pro vodní páry. [25]

#### 3.2.2 Definice

Podle této normy se udává propustnost pro vodní páry v %. „*Je to poměr přírůstku hmotnosti vysoušedla ve zkušební misce s textilií a přírůstku hmotnosti vysoušedla ve zkušební misce bez textilie.*“ [25]

Vodní páry, které procházejí za daných podmínek plošnou textilií, jsou absorbovány vysoušedlem. Stanoví se jeho přírůstek hmotnosti. Zkouška absorpce vodních par v misce se vzorkem probíhá paralelně se zkoušením v misce bez vzorku. [25]

#### 3.2.3 Zkušební zařízení

**Klimatizační skříň** – teplotu musí dodržet s přesností  $\pm 2$  °C a maximální rychlost proudění vzduchu musí být 0,2 m/s.

**Analytické váhy** – přesnost vah musí být  $10^{-4}$  g.

**Exikátor** – slouží pro manipulaci s miskami poté, co se vyjmou z klimatizační skříně.

**Lehké hliníkové eloxované zkušební misky** – mají kruhový tvar, o průměru 61,9 mm.

**Víčka a matice s těsnícím kroužkem** – pro utěsnění vzorku.

**Raznice** – průměr 71,4 mm.

**Vysoušedlo** – silikagel T středně porézní o zrnitosti 0,4 - 1,6 mm. [25]

#### 3.2.4 Zkušební vzorky

Pro odběr zkušebních vzorků musí být splněny podmínky dle normy ČSN 80 0072. Tvar vzorku musí být kruhový o ploše 30 cm<sup>2</sup>. Poté je potřeba zkušební vzorky klimatizovat dle normy ČSN 80 0061. [25]

### 3.2.5 Postup zkoušky a podmínky testování

Zkouška se provádí v klimatizované místnosti. Expozice v klimatizační skříni probíhá při ustálených podmínkách: teplota  $t = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$ , relativní vlhkost  $\varphi = 65 \pm 2\%$  a maximální rychlost proudícího vzduchu  $v = 0,2\text{ m/s}$  v okolí zkušebních misek. U každého materiálu se provádí zároveň zkoušky na 5 miskách se vzorkem a na 5 miskách bez vzorku. [25]

#### Postup zkoušky:

- 1) Všechny 10 zkušebních misek je potřeba naplnit silikagelem o hmotnosti  $30 \pm 0,1\text{ g}$ , poté se misky s odklopenými víčky a rovnoměrně rozprostřeným silikagelem vloží do sušárny. Sušení trvá 4 hodiny a probíhá při teplotě:  $t = 140\text{ }^{\circ}\text{C}$ .
- 2) Zkušební misky se vyjmou ze sušárny, zavíčkují a vloží do exikátoru se silikagelovou náplní a nechají se vychladnout na teplotu zkušebního prostředí.
- 3) Misky se vyjmou z exikátoru, uvolní se matice a do 5 z nich se vypnou předem klimatizované vzorky. Hned po upnutí vzorku se misky zavíčkují a zváží s přesností  $10^{-4}\text{ g}$ , čímž zjistíme hmotnost silikagelu s textilním vzorkem a bez textilního vzorku.
- 4) Zvážené misky se vloží do klimatizační skříně, odklopí se víčka a zkoušené vzorky se 3 hodiny exponují.
- 5) Po vyjmutí z klimatizační skříně se misky opět zavíčkují, počká se na vyrovnaní teploty misek s teplotou okolí a zváží se opět s přesností  $10^{-4}$ . Rozdíl hmotnosti odpovídá množství par, které do sebe silikagel absorboval. [25]

### 3.2.6 Výpočet

Poměr přírůstku hmotnosti vysoušedla ve zkušební misce s textilií a přírůstku hmotnosti vysoušedla ve zkušební misce bez textilie:

$$P\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^5 M_v}{\sum_{i=1}^5 M_s} \cdot 100 \quad [\%] \quad (7)$$

$M_v$  přírůstek hmotnosti vysoušedla s textilií [g]

$M_s$  přírůstek hmotnosti vysoušedla bez textilie [g]



### **3.3 BS 7209: 1990**

#### **Zjišťování relativní propustnosti vodních par plošnou textilií**

##### **3.3.1 Předmět normy**

Jedná se o britskou normu, která je určena pro měření výparného odporu textilních materiálů. Lze ji využít pro měření materiálů s vysokou i nízkou hodnotou paropropustnosti. [24]

##### **3.3.2 Definice**

Podle této normy se udává propustnost pro vodní páry v  $\text{g}/(\text{m}^2 \cdot 24 \text{ h})$ . Počítá se tedy úbytek hmotnosti za čas  $t$ , který je následně přepočítán na úbytek za dobu 24 hodin a na metr čtvereční. [24]

##### **3.3.3 Zkušební zařízení**

**Točna s pohonnou jednotkou.**

**8 ks misek.**

**8 ks trojúhelníkových spon.**

**8 ks kroužků na zakrytí a připevnění materiálů.**

**Tuba lepidla a role lepicí pásky.**

**Analytické váhy** – s přesností  $10^{-4}$  g. [24]

##### **3.3.4 Zkušební vzorky**

Vzorky je třeba vybírat tak, aby byly reprezentativní pro daný účel. V případě více barev materiálů je třeba zajistit, aby byly při testování zastoupeny všechny barvy materiálů. Velikost vzorku by měla být lehce větší, než je vnější průměr zkušebních misek. [24]

### 3.3.5 Postup zkoušky a podmínky testování

Vzorky musí být stabilizovány po dobu 4 hodin při relativní vlhkosti  $\phi$  nepřesahující 10 % a teplotě  $t$ , která nesmí být vyšší než 50 °C. Relativní vlhkost  $\phi$  pro ustálení (kondicionání) a zkoušení textilií by měla být 65 %  $\pm$  2 %.

Při testování je možné použít i referenční tkaninu, která slouží k výpočtu indexu propustnosti pro vodní páry. Tento způsob se v současnosti již nepoužívá.

- 1) Poté, co jsou vzorky stabilizovány, můžeme je upevnit na misky.
- 2) Nejprve pomocí pipety nakapeme destilovanou vodu o teplotě  $t = 20 \pm 2$  °C. Důležité je dodržet velikost vzduchové mezery mezi hladinou vody a textilií, která by měla být 10  $\pm$  1 mm.
- 3) Na takto připravené misky nanese lepidlo po celém okraji, přiložíme spony a přes ně umístíme testovací textilie a referenční tkaninu. Líc textilie by měl směřovat nahoru.
- 4) Na textilií přidáme kroužek a přitiskneme. Celou sestavu oblepíme lepicí páskou.
- 5) Takto připravená sestava misek se umístí na kruhovou točnu. Sestava na točně by měla obsahovat třikrát vzorek z každé ze dvou zkušebních textilií a 1 vzorek referenční textilie. Na točnu je třeba vzorky umístit ve směru hodinových ručiček v následujícím pořadí: A1, A2, A3, B1, B2, B3, referenční textilie. Při manipulaci s miskami se musí dát pozor, aby voda nenamočila napnutou tkaninu.
- 6) Pro vytvoření rovnováhy přechodu vodní páry skrz sestavu je třeba nechat sestavu po dobu minimálně 1 hodiny ustálit ve standardním prostředí pro testování, jak je uvedeno na začátku kapitoly 3.3.5.
- 7) Po vytvoření rovnováhy musíme každou sestavu převážít s přesností  $10^{-4}$  gramů a zaznamenat výsledky.
- 8) Samotné testování by mělo trvat nejméně 5 hodin.
- 9) Na konci testování je třeba převážít sestavy a jejich hmotnosti zaznamenat spolu s časy těchto vážení. [24]

### 3.3.6 Výpočet

Propustnost pro vodní páry (Water vapour permeability):

$$WVP = \frac{24 \cdot \Delta M}{A \cdot \tau} \quad [g/(m^2 \cdot 24h)] \quad (8)$$

$\Delta M$  ztráta hmotnosti vzorku po dobu  $\tau$  [g]

$A$  vnitřní plocha kruhového vzorku [m<sup>2</sup>],  $A = 0,0054113 \text{ m}^2$

$\tau$  čas [h]

Index propustnosti pro vodní páry (Water vapour permeability index):

$$L_{WVP} = \frac{WVP_{test}}{WVP_{ref}} \cdot 100 \quad [\%] \quad (9)$$

$WVP_{test}$  propustnost pro vodní páry testované textilie

$WVP_{ref}$  propustnost pro vodní páry referenční textilie [24]

### 3.4 ISO/WD 15496: 1999

#### Textil – Měření propustnost vodních par textilií pro účely kontroly kvality

##### 3.4.1 Předmět normy

Norma popisuje poměrně jednoduchý způsob testování paropropustnosti, který se využívá pro kontrolu kvality. Tuto normu však nelze použít tam, kde se testují osobní ochranné prostředky. Podle této normy je testovaná většina textilií, která se dováží z Asie. [27]

##### 3.4.2 Definice

V této normě je charakterizován tzv. **WVP** (Water vapour permeability), což označuje množství páry v gramech, které projde skrz jeden metr čtvereční textilie za 24 hodin při rozdílů parciálních tlaků jeden Pascal. [27]

Textilní vzorek musí být umístěn mezi dvě vodotěsné, ale pro vodní páry velmi propustné, hydrofobní, mikroporézní membrány (dále jen "membrány") na horním okraji pohárku. Pohárky jsou naplněné nasyceným roztokem octanu draselného. Relativní vlhkost  $\phi$  uvnitř pohárku je cca 23 %. Soustava se zvaží. [27]

Celou soustavu je potřeba poté ponořit do vodní lázně tak, aby byla spodní membrána v kontaktu s vodou. Po 15 minutách se pohárky se vzorky vyndají z vodní lázně a převáží. Zároveň se provádí kontrolní test soustavy s membránami bez vzorku. To stanoví propustnost vodních par ze dvou membrán, abychom mohli odečíst vliv jejich propustnosti. [27]

##### 3.4.3 Zkušební zařízení

**Vodní lázeň** – je tvořena průhlednou skleněnou či plastovou nádrží, ve které je destilovaná voda o teplotě  $t_b = 23\text{ °C}$ . Teplota je zajištěna pomocí ponorného termostatu a oběhového čerpadla.

**Zkušební pohárky** – jsou vyrobeny z průhledného plastu, vnitřní průměr musí být mezi 85 – 95 mm, s tolerancí  $\pm 1\text{ mm}$ . Objem misek by měl být alespoň 250 ml.

**Membrána** – membrána musí být mikroporézní, voděodolná a hydrofobní. Celková paropropustnost dvou vrstev membrány musí být vyšší než  $1,5 \text{ g}/(\text{m}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{Pa})$ .

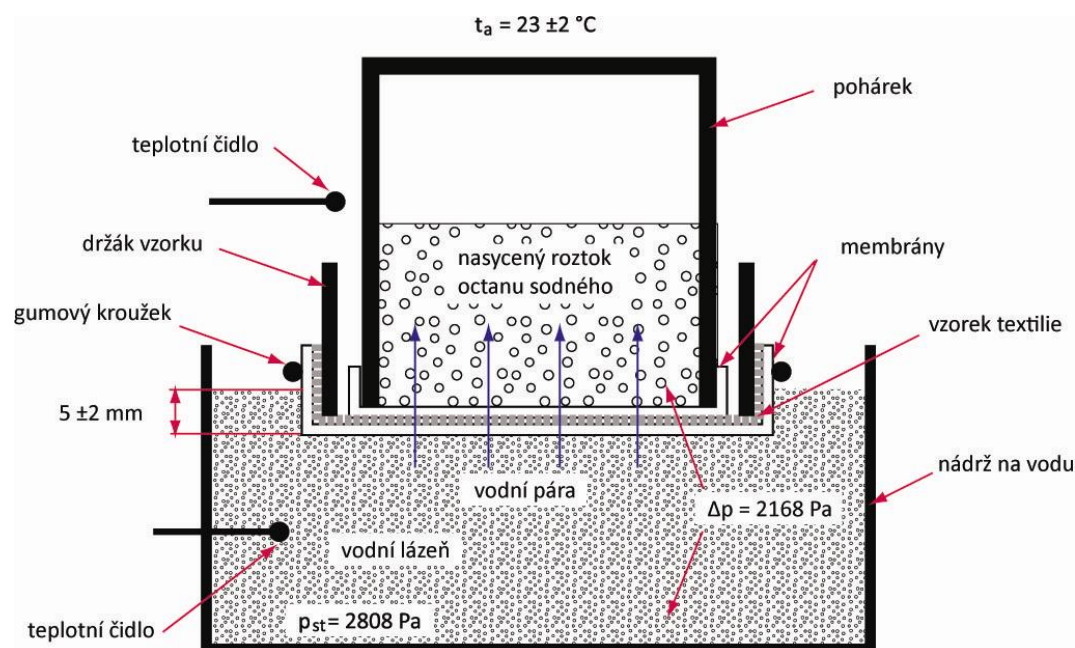
**Držáky vzorku** – tvoří jej kovové nebo plastové kroužky, které mají drážku umístěnou tak, aby do ní přesně zapadl gumový kroužek. Ten celou soustavu membrán spolu se vzorkem upevní ke zkušebnímu pohárku. Spodní okraj držáku vzorku by měl být zaoblen.

**Nosný rám pro umístění pohárků** – je tvořen dvěma pláty, ve kterých jsou umístěny otvory pro misky. Nosný rám je vybaven čtyřmi šrouby, vertikálně nastavitelnými tak, aby se misky se vzorky mohly ponořit do vody do hloubky  $5 \pm 2 \text{ mm}$ .

**Nasycený roztok octanu draselného (potaš)** – ten se vytvoří smícháním 100 g octanu draselného a 31 g vody. Roztok musí být homogenní, bez hrudek. Směs se musí nechat klimatizovat po dobu minimálně 12 hodin při teplotě  $t_a = 23 \text{ }^\circ\text{C}$ .

**Analytické váhy** – přesnost vah musí být  $10^{-4} \text{ g}$ .

**Klimatizovaná místnost** – teplota musí být  $t_a = 23 \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$ . [27]



Obr. 1: Schéma uspořádání pro testování pohárkovou metodou [27]

### **3.4.4 Zkušební vzorky**

Pro testování je třeba opatřit vzorky textilie kruhového tvaru o průměru 180 mm a vzorky membrány o průměru 200 mm. Mezi vzorkem a membránou nesmí být žádné záhyby ani vzduchová mezera. Stejně tak se připraví i kontrolní vzorek bez textilie, pouze se dvěma membránami. [27]

Každý zkušební pohárek se naplní 120 g nasyceného roztoku octanu draselného a poté se na něm utěsní kruhový vzorek membrány. Membrána musí být napnutá. Před každým měřením by měla být testovaná těsnost, a to překlopením celé soustavy a kontrolou pomocí savého papíru. I po třech minutách musí zůstat savý papír suchý. [27]

### **3.4.5 Postup zkoušky**

- 1) Držáky se vzorkem a membránou a držák pouze s membránou se umístí do nosného rámu. Je třeba neustále kontrolovat, zda mezi membránou a vodní plochou nejsou vzduchové bubliny. Také je třeba dávat pozor, aby na vzorcích nebyly žádné vrásky. To se kontroluje po dobu cca 10 minut, aniž bychom držáky se vzorky vyjmuli z vodní lázně. Držáky se vzorky se ponechají ve vodní lázni 15 minut  $\pm 10$  sekund.
- 2) Na držáky se vzorky se postupně (ve stejném pořadí, jako se umístily držáky se vzorkem a membránou a kontrolní držák pouze s membránou) umístí pohárky s potašem, které jsou předtím lehce protřepány a zváženy. Po 15 minutách jsou pohárky sundány a opět převáženy.
- 3) Zkontroluje se vodotěsnost držáku se vzorkem a membránou. Pokud by došlo k prosakování vody, je třeba daný vzorek vyloučit z měření. [27]

### 3.4.6 Výpočet

Propustnost pro vodní páry (Water vapour permeability):

$$WVP_{app} = \frac{\Delta M_{app}}{A \cdot \Delta p \cdot \Delta \tau} \quad [g / (m^2 \cdot Pa \cdot h)] \quad (10)$$

$$WVP = \left[ \frac{A \cdot \Delta p \cdot \Delta \tau}{\Delta M} - \frac{1}{WVP_{app}} \right]^{-1} \quad [g / (m^2 \cdot Pa \cdot h)] \quad (11)$$

$A$	plocha zkoušeného vzorku [m <sup>2</sup> ]
$t_a$	teplota ve zkušební místnosti [°C]
$t_b$	teplota vodní lázně [°C]
$\Delta M$	přírůstek hmotnosti vodní páry po 15 minutách [g]
$\Delta \tau$	doba měření [h]
$p_{sb}$	tlak nasycené vodní páry při teplotě vodní lázně $t_b$ [Pa]
$p_{sa}$	tlak nasycené vodní páry při teplotě zkušební místnosti $t_a$ [Pa]
$\Delta p$	tlakový gradient [Pa]

$$\Delta p = p_{sb} - \frac{p_{sa} \cdot \varphi}{100} = 2808 - 640 = 2168 \text{ Pa} \quad (12)$$

$$\varphi = 22,8 \% \text{ při } t_a = 23 \text{ °C}$$

## **4 Měřicí přístroje, metody a zařízení**

### **4.1 Gravimetrické metody**

Mezi nejstarší způsoby testování, která se k hodnocení propustnosti pro vodní páry používají, patří metody, které zjišťují množství páry v gramech, jež projde danou textilií za daný časový interval. Všechny tyto metody vychází především z norem ČSN 80 0855, BS 7209, ČSN 770322, ČSN ISO 15496. [14]

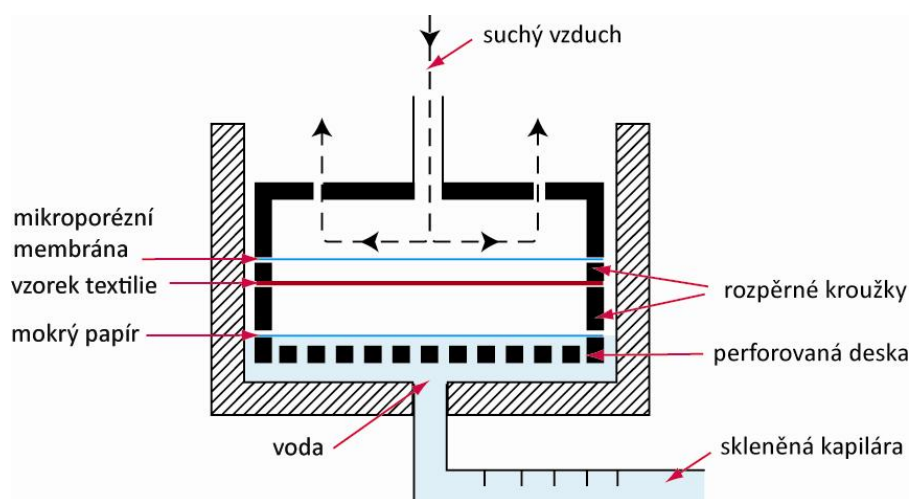
Dle způsobu testování je můžeme rozdělit na metodu s absorbentem, metodu klasickou a tzv. invertovanou metodu. U metody s absorbentem se zjišťuje množství páry absorbované silikagelem (ČSN 80 0855, 1976), u klasické metody se měří množství vodní páry prošlé skrz textilii (BS 7209, 1990). U metody invertované se zjišťuje také množství vodní páry prošlé skrz textilii, ale celý systém je při testování otočen, čímž se odstraní vliv vzduchové mezery. [14]



## 4.2 Metoda DREO

Další metodou, při které je možné vyhodnotit propustnost textilie pro vodní páry, je metoda DREO. Tuto metodu vymysleli Farnworth, Dolhan a Van Best. [14]

Testovaný vzorek je třeba upevnit mezi dvě folie, které jsou polopropustné. Nad vrchní vrstvou proudí suchý vzduch, tato vrstva zajišťuje ochranu před jeho prouděním. Spodní polopropustná vrstva zajišťuje ochranu před vodou, umístěnou pod vzorkem. Dle toho, jak je materiál propustný pro vodní páry, prochází určité množství vodní páry nejprve skrz první polopropustnou vrstvu, textilií a poté skrz druhou polopropustnou vrstvu pryč z celé měřicí soustavy, jak je patrné z obr. 2. Celé měření trvá cca 15 minut a množství prošlé páry se stanovuje odečítáním na stupnici skleněné kapiláry. [14]



Obr. 2: Farnworthův difuzimetr [14]

### 4.3 Skin model

V praxi se můžeme setkat s několika typy skin modelů. Jedním z nich je skin model zkonstruovaný v laboratořích německého institutu Hohenstein. Tento institut se zabývá měření termofyziologických vlastností již od roku 1946 a má na svém kontě několik typů přístrojů. Mezi ně patří nejen skin model, který je na obrázku 3, ale i různé typy tepelných manekýnů. [2]



Obr. 3: Hohenstein - skin model [9]

Pro experimentální část této práce však byly vybrány jiné dva typy skin modelů, a to přístroj Permetest a brněnský přístroj PSM - 2. Oba přístroje pracují na stejném principu a jsou podrobněji popsány v dalších kapitolách.

Principem všech skin modelů je v podstatě zjednodušený model lidské kůže se všemi jejími vlastnostmi. Cílem je simulovat procesy, ke kterým dochází mezi lidskou pokožkou a okolím, tzn. přenos tepla a hmoty. Při měření na skin modelu je možné simulovat různé teploty, vlhkosti a rychlosti proudění vzduchu. Obecně lze říci, že lze provádět měření dvěma způsoby. [14]

#### 4.3.1 Měření propustnosti pro vodní páry za stacionárních podmínek

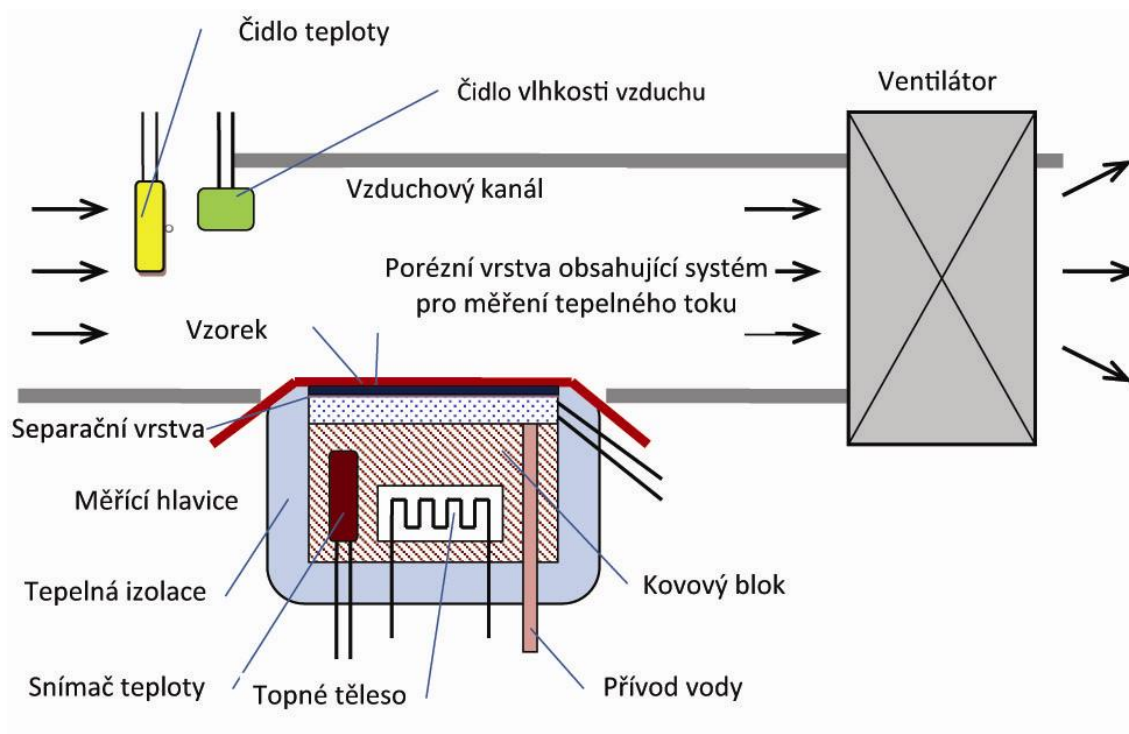
Při samotném měření je třeba respektovat podmínky uvedené v normě ISO 11092. Dle této normy je potřeba při měření tepelného odporu nastavit teplotu okolí na 20 °C a teplotu porézní vyhřívané desky na teplotu 35 °C. Chceme-li měřit propustnost pro vodní páry, nastavíme teplotu vzduchu stejně jako teplotu desky na 35 °C. U obou měření je třeba zajistit proudění vzduchu o rychlosti 1 m/s. Zároveň je potřeba počkat, než se ustálí podmínky celého systému. [14]

#### **4.3.2 Měření propustnosti pro vodní páry za nestacionárních podmínek**

Dalším způsobem je měření za podmínek, které simulují intenzivní pocení. Na porézní desku se umístí hydrofilní tkanina, která se zavlhčí cca 4 cm<sup>3</sup> vody. Čidla, umístěná ve vzduchovém prostoru mezi porézní deskou a vzorkem, měří podle předem nastaveného režimu pocení časový průběh vlhkosti a teploty. Chceme-li simulovat také pohyb nositele, je možné vzorkem pohybovat pomocí jednoduchého mechanismu nitřových tahů. [14]

## 4.4 Permetest

Permetest představuje zmenšenou verzi skin modelu. Tento přístroj je schopen měřit tepelný tok  $q$ , výparný odpor  $R_{et}$  a relativní paropropustnost  $P$ . Měření trvá pár minut a díky malým rozměrům přístroje je možné měření provést téměř kdekoliv. [12, 14]



Obr. 4: Schéma přístroje Permetest [14]

Na obrázku 4 jsou vyznačeny jednotlivé části přístroje Permetest. Na povrchu hlavice je pomocí gumičky natažená separační fólie, většinou se jedná o mikroporézní membránu. Tu je potřeba před samotným měřením důkladně vydloužit a na hlavici přístroje správně napnout. Na ni je pak možné přiložit měřený vzorek. Vnější strana vzorku je skrz vzduchový kanál ofukována, jak je patrné z nákresu na obr. 4. [14]

### 4.4.1 Měření výparného odporu a propustnosti pro vodní páru

Během samotného měření je potřeba zajistit izotermické podmínky, proto je měřicí hlavice udržována na teplotě okolního vzduchu (obvykle 22 – 24 °C) v klimatizované místnosti pomocí regulátoru a topné spirály. [14]

Povrch měřicí hlavice přístroje je porézní a neustále zavlhčován, aby mohla být simulována funkce lidského těla, a to ochlazování pocením. [14]

Okolní vzduch je do přístroje nasáván a vzduchovým kanálem přiváděn k měřené textilii umístěné na měřicí hlavici. Vlhkost se v porézní vrstvě změní v páru, která se dostane skrz separační fólii přímo k měřenému vzorku. [14]

Při výpočtu se vychází z hodnoty tepelného toku  $q_o$ , který se odpařuje z nezakryté vodní hladiny o průměru totožném s průměrem měřeného vzorku. Hodnota  $q_o$  pak představuje 100 % propustnost. Po zakrytí vodní hladiny vzorkem se tepelný tok sníží na hodnotu  $q_v$ . [14]

Přístroj tedy změří hodnotu výparného tepelného toku nejprve bez vzorku  $q_o$  a poté stejným způsobem, ale se vzorkem umístěným na měřicí hlavici  $q_v$ . Hodnota výparného tepelného toku je přímo úměrná propustnosti textilie pro vodní páru a zároveň nepřímo úměrná jejímu výparnému odporu. [14]

Stanovení relativní propustnosti pro vodní páry:

$$P = \frac{q_v}{q_o} \cdot 100 \quad [\%] \quad (13)$$

$q_v$	plošná hustota tepelného toku (tepelný tok) procházející měřicí hlavici nezakrytou měřeným vzorkem [W/m <sup>2</sup> ]
$q_o$	plošná hustota tepelného toku (tepelný tok) procházející měřicí hlavici zakrytou měřeným vzorkem [W/m <sup>2</sup> ]
$P$	relativní propustnost pro vodní páry [%]

Výpočet výparného odporu:

$$R_{et} = (p_m - p_a) \cdot (q_v^{-1} - q_o^{-1}) \quad [m^2 \cdot Pa/W] \quad (14)$$

$R_{et}$	výparný odpor zkoušeného vzorku [m <sup>2</sup> ·Pa/W]
$p_m$	nasycený parciální tlak vodní páry na povrchu měřicí hlavice [Pa]
$p_a$	parciální tlak vodní páry ve vzduchu ve zkušebním prostoru [Pa]

#### 4.4.2 Měření tepelného odporu textilie

Podobným způsobem, jak bylo popsáno v předchozí kapitole, lze změřit i tepelný odpor  $R_{ct}$ , kdy je hlavice měřicího přístroje udržována v suchu při teplotě o 10 – 20 °C vyšší, než je teplota okolního vzduchu.

Opět je zde snímán tepelný tok odváděný konvekcí od vzorku do okolí. Takto stanovená hodnota  $R_{ct}$  textilie je však pouze přibližná, protože se zde odečítá hodnota platící pro hladký povrch, což neodpovídá povrchu většiny textilií. Přesto se tento postup v Evropě používá, viz příslušná norma ISO 11092. [14]

Výpočet tepelného odporu:

$$R_{ct} = (t_m - t_a) \cdot (q_v^{-1} - q_o^{-1}) \quad [m^2 \cdot K/W] \quad (15)$$

$R_{ct}$	tepelný odpor zkoušeného vzorku [ $m^2 \cdot K/W$ ]
$t_m$	teplota povrchu měřicí hlavice [°C]
$t_a$	teplota vzduchu proudícího kanálem podél měřicí hlavice [°C]

## 4.5 PSM - 2

Další verzí skin modelu je přístroj zvaný PSM - 2. Tento přístroj je svou konstrukcí podobný Permetestu, testování zde probíhá obdobným způsobem, ale celková doba testování jednoho vzorku trvá cca 30 minut. Na obrázku 5 je zobrazen samotný přístroj. [7]



Obr. 5: Přístroj PSM - 2 [7]

Měření na tomto přístroji je třeba provést v klimatizované laboratoři, přístroj není schopen měřit za jiných podmínek, než je uvedeno v normě ISO 11092. Pro samotné měření je třeba z materiálu vystříhnout vzorek čtvercového tvaru o velikosti strany cca 28 cm. Testovaná textilie se upevní dvěma rámečky na měřící podložku. Na té je již umístěna membrána. Poté se na tento prostor upevní víko a je možné provést samotné měření. Veškerá další obsluha měření se provádí pomocí počítače. Přístroj měří tepelný nebo výparný odpor. Před měřením tepelného odporu je však potřeba přístroj dokonale vysušit. [7, 15]

## 4.6 Metoda LYSSY

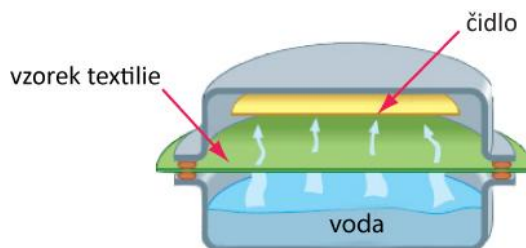
K dalším metodám, které se využívají pro testování propustnosti pro vodní páry, patří metoda LYSSY, označovaná jako L80-5000. Poměrně jednoduchá a nenáročná metoda byla vyvinuta firmou PBI Dansensor v Dánsku. Přístroj je zobrazen na obrázku 6. [17]



Obr. 6: Přístroj pro měření metodou LYSSY [17]

Principem této metody je kapacitní senzor, který měří relativní vlhkost v horní komoře. Spodní komora je naplněna vodou, nad ní je umístěn vzorek textilie, který obě komory odděluje. Před samotným měřením je třeba vysušit horní komoru na předepsanou relativní vlhkost, a to pomocí několika cyklů. Po vysušení horní komory se uzavře proudění vzduchu. Vodní pára prochází skrz měřený vzorek do horní komory, kde způsobí nárůst vlhkosti, jak je vidět z obrázku 7. Přístroj změří čas potřebný pro nárůst vlhkosti v horní komoře dle předdefinované horní hranice. [17]

Dle naměřeného časového intervalu se vypočte přenosová rychlost vyjádřená v  $\text{g}/(\text{m}^2 \cdot 24\text{h})$ . Čím více je testovaný vzorek propustný pro vodní páry, tím kratší doba pro měření je potřeba. Výhodou tohoto přístroje je možnost nastavení teploty a relativní vlhkost přímo v komoře pro měření a také jeho citlivost u málo propustných materiálů. Rozsah měření se pohybuje v intervalu  $0,03 - 10000 \text{ g}/(\text{m}^2 \cdot 24 \text{ h})$ . [17]



Obr. 7: Schéma prostupu vodní páry u metody LYSSY [17]



## 4.7 Tepelné figuríny

Další metodou je simulace pocení pomocí tepelných manekýnů. Předchůdcem těchto složitých přístrojů bylo tzv. „Potící se torzo“, jež bylo zkonstruované ve Švýcarsku. Ve 40. letech se objevila statická pánská měděná figurína se šesti topnými zónami. Po roce 1980 vývoj figurín významně pokročil a vznikly pohyblivé figuríny, které již měli více topných zón. [10]

Stále se však jednalo o figuríny, které nejsou schopny simulace pocení. Manekýn, který byl schopen i pocení, vznikl v roce 1988 ve Finsku a nazýval se COPELLIUS. U něj již bylo možné simulovat různé klimatické podmínky, rozličné úrovně aktivit a to pomocí 18 samostatně řízených sekcí těla a 187 jednotlivě ovládaných potních žláz. [10]

O rok později vytvořil team vědců z Dánska první figurínu ženského pohlaví. Poté již vznikaly figuríny pro různé účely, například pro hodnocení prostředí v automobilech. Jednou z takových figurín je i manekýn ADAM, vyrobený týmem vědců v USA. ADAM je tvořen řadou protetických kloubů, umožňujících řadu pohybů, pozic figury. Je schopen dýchání vtokem okolního vzduchu a výtokem teplého vlhkého vzduchu, který i svým množstvím odpovídá lidskému dýchání. [10]



Obr. 8: Tepelný manekýn ADAM [10]

# PRAKTICKÁ ČÁST

## 5 Testované vzorky

Do této práce byly vybrány materiály asijských výrobců, které se používají pro výrobu sportovních oděvů. Materiály jsou rozděleny do 6 skupin a pro lepší přehlednost jsou všechny skupiny v grafech stejným způsobem barevně odlišeny.

Tabulka 1: Rozdělní materiálů do skupin a jejich barevné rozlišení

Tkaniny s vodoodpudivou úpravou	vzorek 1
	vzorek 2
Tkaniny se zátěrem	vzorek 3
	vzorek 4
Softshelly bez membrány	vzorek 5
	vzorek 6
Softshelly s membránou	vzorek 7
	vzorek 8
Tkaniny s neporézní membránou	vzorek 9
	vzorek 10
	vzorek 11
	vzorek 12
Tkanina s mikroporézní membránou	vzorek 13

## 5.1 Tkaniny s vodoodpudivou úpravou

### Vzorek 1

Výrobce: Jianxing Huici Textile

Plošná hmotnost: 63 g/m<sup>2</sup>

Materiálové složení: 100 % polyester



Obr. 9: Vzorek 1 (lícní strana)

### Vzorek 2

Výrobce: Carol Tex

Plošná hmotnost: 92 g/m<sup>2</sup>

Materiálové složení: 100 % polyester



Obr. 10: Vzorek 2 (lícní strana)

## 5.2 Tkaniny se zátěrem

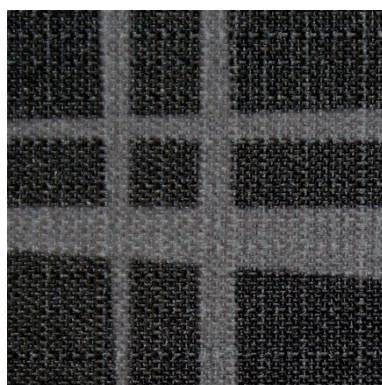
### Vzorek 3

Výrobce: Local

Plošná hmotnost: 115 g/m<sup>2</sup>

Materiálové složení vrchní vrstvy: 100 % polyester

Materiálové složení zátěru: 100 % polyuretan



Obr. 11: Vzorek 3 (lící strana)

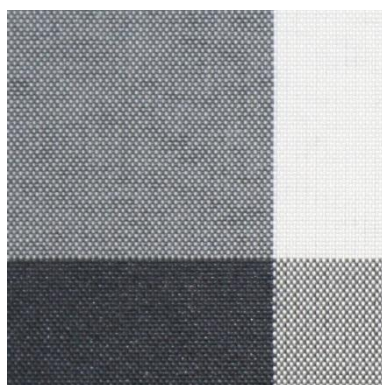
### Vzorek 4

Výrobce: Shinkong

Plošná hmotnost: 68 g/m<sup>2</sup>

Materiálové složení vrchní vrstvy: 100 % polyester

Materiálové složení zátěru: 100 % polyuretan



Obr. 12: Vzorek 4 (lící strana)

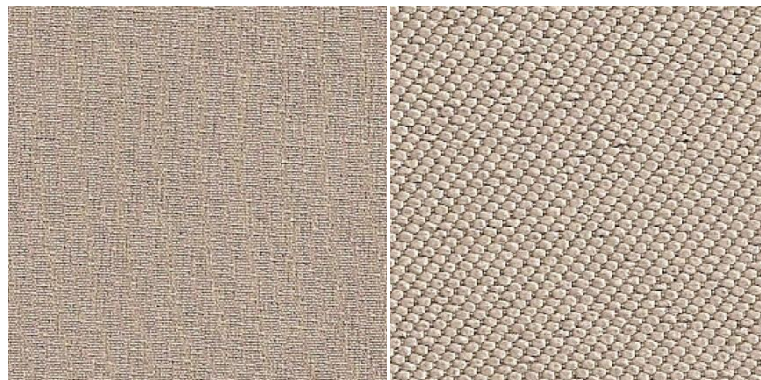
### 5.3 Softshelly bez membrány – dvouvrstvé lamináty

#### Vzorek 5

Výrobce: Long Advance

Plošná hmotnost: 215 g/m<sup>2</sup>

Materiálové složení vrchní a spodní vrstvy: 91% polyester, 9% spandex



Obr. 13: Vzorek 5 (lící a rubní strana)

#### Vzorek 6

Výrobce: Singtex

Plošná hmotnost: 210 g/m<sup>2</sup>

Materiálové složení vrchní a spodní vrstvy: 94 % polyester, 6 % spandex



Obr. 14: Vzorek 6 (lící a rubní strana)



## 5.4 Softshelly s membránou – třívrstvé lamináty

### Vzorek 7

Výrobce: Shinkong

Plošná hmotnost: 292 g/m<sup>2</sup>

Materiálové složení vrchní a spodní vrstvy: 100 % polyester

Materiálové složení membrány: 100 % polyuretan



Obr. 15: Vzorek 7 (lící a rubní strana)

### Vzorek 8

Výrobce: Singtex

Plošná hmotnost: 285 g/m<sup>2</sup>

Materiálové složení vrchní a spodní vrstvy: 40 % nylon, 54 % polyester, 6 % spandex

Materiálové složení membrány: 100 % polyuretan



Obr. 16: Vzorek 8 (lící a rubní strana)

## 5.5 Tkaniny s neporézní membránou – dvouvrstvé lamináty

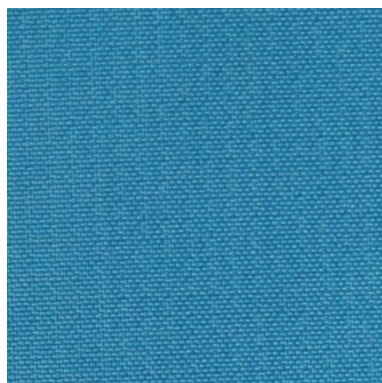
### Vzorek 9

Výrobce: Kolon

Plošná hmotnost: 148 g/m<sup>2</sup>

Materiálové složení vrchní vrstvy: 100 % polyester

Materiálové složení membrány: 100 % polyuretan



Obr. 17: Vzorek 9 (lícní strana)

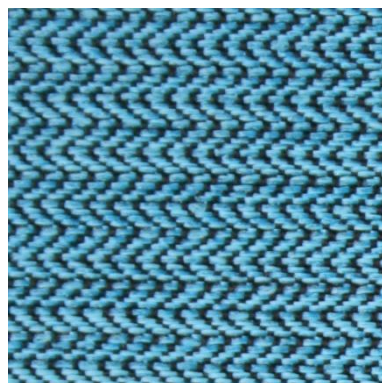
### Vzorek 10

Výrobce: Long Advance

Plošná hmotnost: 183 g/m<sup>2</sup>

Materiálové složení vrchní vrstvy: 100 % polyester

Materiálové složení membrány: 100 % polyuretan



Obr. 18: Vzorek 10 (lícní strana)

### **Vzorek 11**

Výrobce: Long Advance

Plošná hmotnost: 153 g/m<sup>2</sup>

Materiálové složení vrchní vrstvy: 100 % nylon

Materiálové složení membrány: 100 % polyuretan



Obr. 19: Vzorek 11 (lící strana)

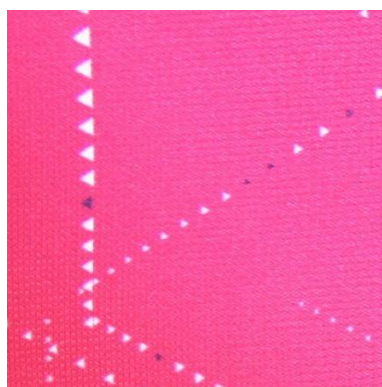
### **Vzorek 12**

Výrobce: Maxland

Plošná hmotnost: 174 g/m<sup>2</sup>

Materiálové složení vrchní vrstvy: 100 % polyester

Materiálové složení membrány: 100 % polyuretan



Obr. 20: Vzorek 12 (lící strana)



## 5.6 Tkanina s mikroporézní membránou – dvouvrstvý laminát

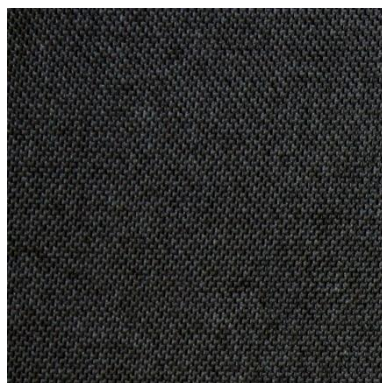
### Vzorek 13

Výrobce: –

Plošná hmotnost: 162 g/m<sup>2</sup>

Materiálové složení vrchní vrstvy: 100 % polyester

Materiálové složení membrány: 100 % polyuretan



Obr. 21: Vzorek 13 (lící strana)

## 6 Vyhodnocení jednotlivých metod

### 6.1 Skin modely - Permetest a PSM - 2

V první části experimentu bylo provedeno proměření všech vzorků na přístroji Permetest (několika způsoby) a na přístroji PSM - 2. U obou přístrojů byla naměřena hodnota výparného odporu  $R_{et}$ , u přístroje Permetest pak navíc hodnota relativní paropropustnosti. Na začátku kapitoly je třeba vysvětlit, že vzájemné spojení bodů v jednotlivých grafech je pouze ilustrační, ve skutečnosti výparný odpor i relativní paropropustnost není funkcí rostoucí proměnné.

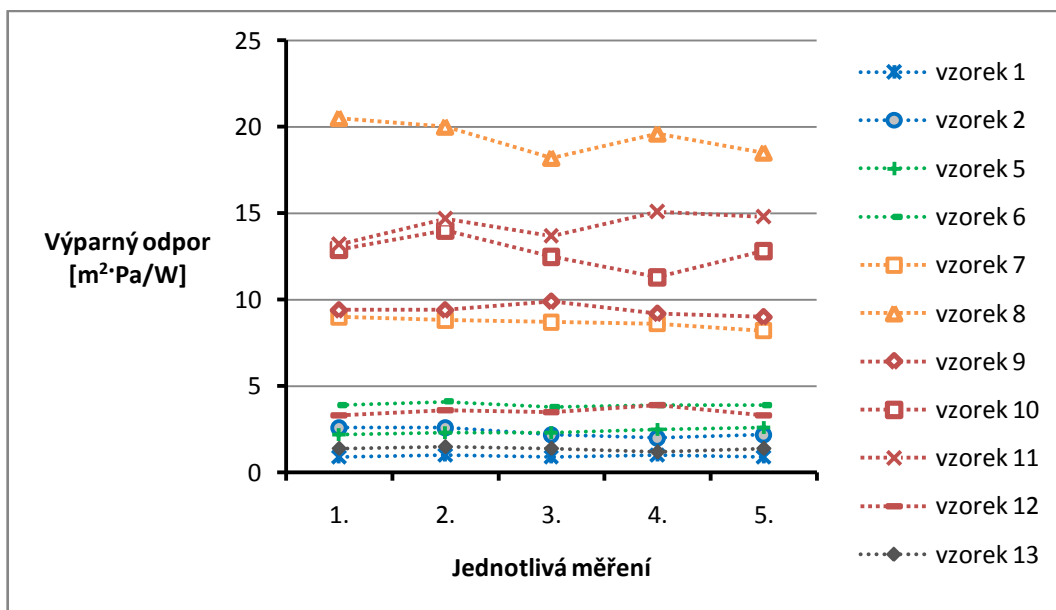
#### 6.1.1 Permetest – standardní podmínky: $t = 23\text{ °C}$ , $\varphi = 40\%$

Nejprve bylo provedeno 5 měření při standardní době 5 minut (což je přednastavená hodnota doby měření na přístroji Permetest). Před samotným měřením byl přístroj kalibrován pomocí kalibrační tkaniny ze 100 % polypropylénu a vzorky byly uloženy po dobu nejméně 12 hodin v laboratoři s relativně stálou vlhkostí (35 - 40 %).

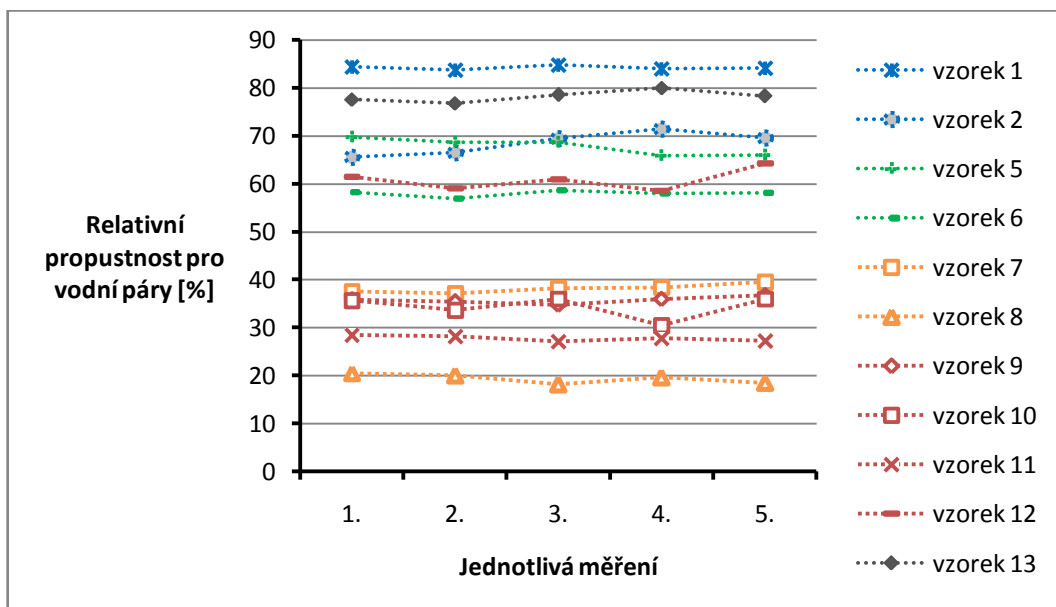
Naměřené hodnoty z Permetestu jsou zobrazeny v grafech 2, 3 a tabulkách 2, 3 jsou zapsané pouze průměrné hodnoty z pěti měření. Hodnoty jednotlivých měření jsou uvedené v tabulce v příloze 1. Permetest byl schopen s relativně malými odchylkami proměřit všechny materiály kromě materiálů se zátěrem. U nich byla relativní paropropustnost tak nízká (a výparný odpor tak vysoký), že ji Permetest nebyl schopen zaznamenat. To však pro praktické testování nevadí, vzhledem k tomu, že takový materiál už bychom zařadili do skupiny mezi materiály neparopropustné a tudíž i nevhodné pro sportovní oblečení.

Z grafu 2 a 3 je patrná nejvyšší paropropustnost u vzorku 1, který má pouze vodoodpudivou úpravu. Nejnižší paropropustnost vykazuje kromě nezměřitelných vzorků 3 a 4 (tkaniny se zátěrem) také vzorek 8 (softshell s membránou). Stejně pořadí platí pro obě veličiny, tj. pro výparný odpor i relativní paropropustnost. Zde je však potřeba si uvědomit, že nižší hodnoty relativní paropropustnosti odpovídají vyšším hodnotám výparného odporu a naopak. Tedy čím vyšší má daný materiál hodnotu relativní paropropustnosti, tím nižší musí mít hodnotu výparného odporu.

Tato variabilita však není dána konstrukcí přístroje, ale přirozenou variabilitou testovaných vzorků. Pokud budeme v přístroji měřit tentýž vzorek vyrobený z nenavlhajícího polypropylénu, běžně dosahujeme hodnot variačního koeficientu pod 3%.



Graf 2: Permetest – výparný odpor – variabilita měření



Graf 3: Permetest – relativní paropropustnost – variabilita měření

Tabulka 2: Permetest – výparný odpor

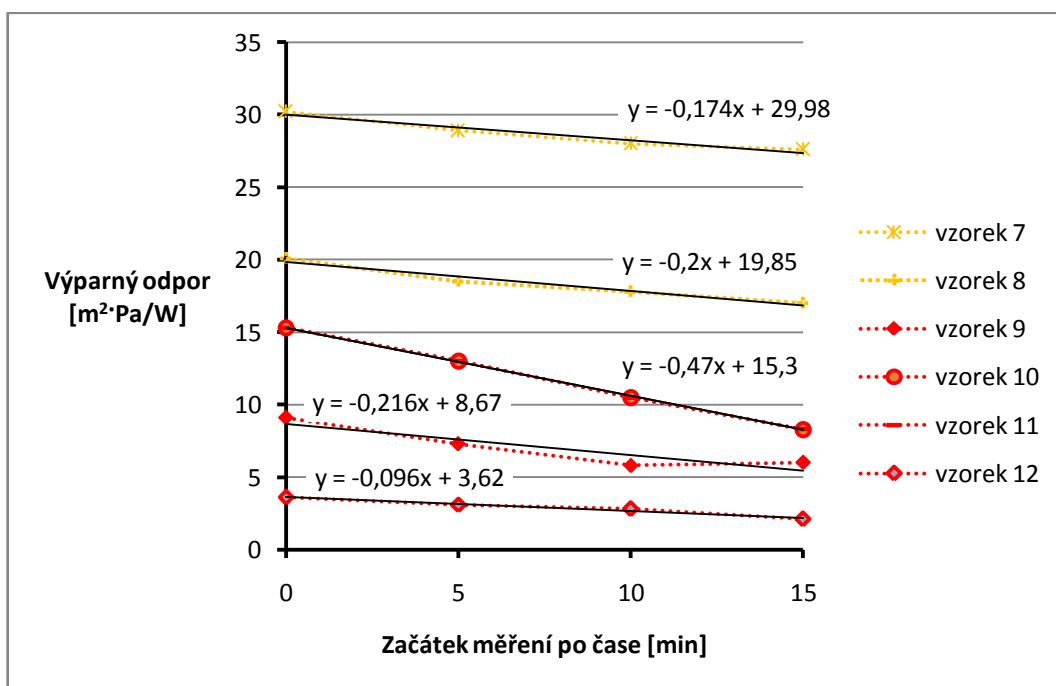
Materiály:	Vzorky:	Průměrná hodnota výparného odporu [m <sup>2</sup> ·Pa/W]	Variační koeficient [%]	Směrodatná odchylka [m <sup>2</sup> ·Pa/W]
Tkaniny s vodoodpudivou úpravou	vzorek 1	0,94	5,83	0,05
	vzorek 2	2,32	11,57	0,27
Softshelly bez membrány	vzorek 5	2,38	6,9	0,16
	vzorek 6	3,92	2,79	0,11
Softshelly s neporézní membránou	vzorek 7	38,14	2,42	0,92
	vzorek 8	19,36	5,08	0,98
Tkaniny s neporézní membránou	vzorek 9	9,38	3,57	0,33
	vzorek 10	12,7	7,61	0,97
	vzorek 11	14,3	5,66	0,81
	vzorek 12	3,52	7,07	0,25
Tkanina s mikroporézní membránou	vzorek 13	1,38	7,94	0,11

Tabulka 3: Permetest – relativní paropropustnost

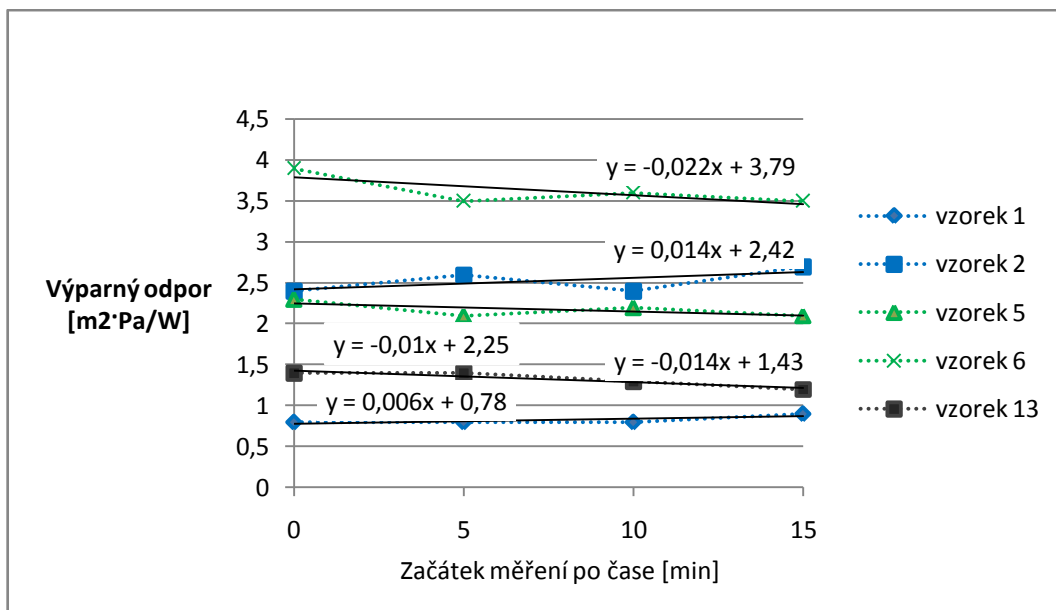
Materiály:	Vzorky:	Průměrná hodnota relativní paropropustnosti [%]	Variační koeficient [%]	Směrodatná odchylka [%]
Tkaniny s vodoodpudivou úpravou	vzorek 1	84,22	0,49	0,41
	vzorek 2	68,54	3,54	2,43
Softshelly bez membrány	vzorek 5	67,76	2,59	1,75
	vzorek 6	57,98	1,11	0,65
Softshelly s neporézní membránou	vzorek 7	8,66	3,43	0,3
	vzorek 8	20,94	8,7	1,82
Tkaniny s neporézní membránou	vzorek 9	35,76	2,07	0,74
	vzorek 10	34,36	7,02	2,41
	vzorek 11	27,74	2,12	0,59
	vzorek 12	60,86	3,76	2,29
Tkanina s mikroporézní membránou	vzorek 13	78,26	1,53	1,19

Cílem dalšího testování na Permetestu bylo ověřit, u jakých typů materiálů ovlivňuje doba měření konečný výsledek a jakým způsobem. Opět se proměřovaly všechny materiály. Pouze u tkanin se zátěrem (díky jejich téměř nulové paropropustnosti) nebylo možné ani po 15 minutách hodnoty výparného odporu zaznamenat.

Pro lepší orientaci jsou v grafu 4 znázorněny materiály s neporézní membránou. U nich se ukázal vliv doby měření jako významný. V grafu 5 jsou zobrazeny materiály, které membránu neobsahují, nebo mají na sobě nalaminovanou membránu mikroporézní, kde se předpokládá rychlý odvod vlhkosti skrz materiál a není tedy třeba delší doby měření. Protože však z časových důvodů nebylo možné provést více měření pro daný časový interval, jsou následující grafy spíše ilustrační. Přesto tato měření potvrdila předchozí domněnku o potřebné delší době měření pro materiály s neporézní membránou.



Graf 4: Permetest – výparný odpor, vliv doby měření

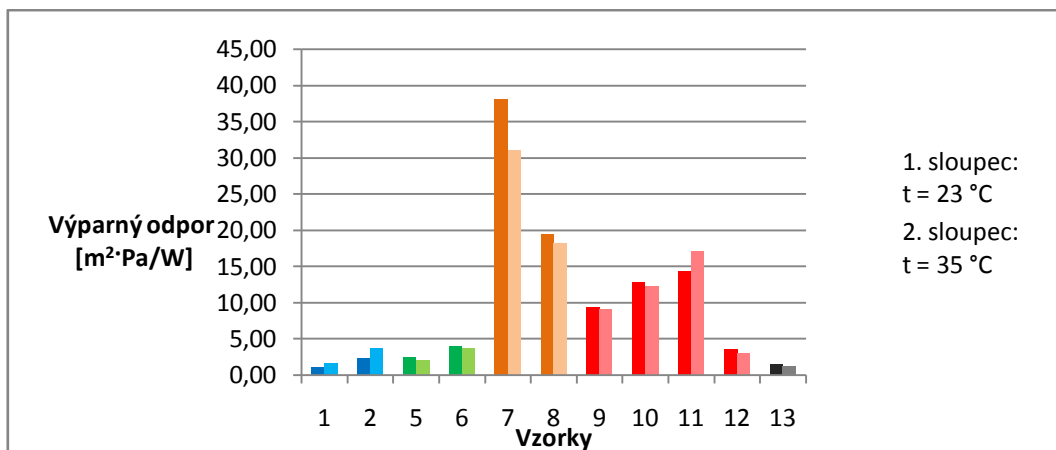


Graf 5: Permetest – výparný odpor, vliv doby měření

### 6.1.2 Permetest – nestandardní podmínky: $t = 35\text{ °C}$ , $\varphi = 40\text{ %}$

Abychom zjistili vliv teploty, při které měření na přístroji Permetest probíhá a zároveň mohli porovnávat hodnoty naměřené na Permetestu s hodnotami z PSM - 2, museli jsme provést měření za stejných podmínek, tj. při teplotě  $t = 35\text{ °C}$  a relativní vlhkosti  $\varphi = 40\text{ %}$ . Pro tento způsob měření musel být přístroj Permetest vložen do klimatizační skříně Vötsch, u které lze teplotu a relativní vlhkost libovolně regulovat. Nejprve byla provedena kalibrace přístroje a poté byly všechny vzorky třikrát proměřeny. V grafu 6 jsou zobrazeny průměrné hodnoty výparného odporu z Permetestu při teplotách  $t_1 = 23\text{ °C}$  a  $t_2 = 35\text{ °C}$ . Porovnání hodnot výparného odporu z obou skin modelů je provedeno v kapitole 6.1.4.

V grafu 6 je patrné, že kromě vzorku 7 a vzorku 11 jsou rozdíly mezi hodnotami při  $t_1$  a  $t_2$  minimální. U vzorku 7 to může být způsobeno i vysokým výparným odporem, který již vyjadřuje téměř neparopropustnou textilií. Mohli bychom tedy konstatovat, že vliv teploty měření u přístroje Permetest je minimální. U některých materiálů se při různých teplotách projeví různý stupeň zvlnění roviny vzorku, což u klasického skin modelu způsobí významný rozdíl v hodnotách výparného odporu. Hodnoty jednotlivých měření jsou uvedené v tabulce v příloze 1.



Graf 6: Permetest – výparný odpor, vliv teploty

### 6.1.3 PSM - 2 – standardní podmínky: $t = 35\text{ °C}$ , $\varphi = 40\text{ %}$

Další variantou skin modelu je brněnský přístroj PSM - 2, u kterého proběhl pouze jeden způsob testování při teplotě  $t = 35\text{ °C}$  a relativní vlhkosti  $\varphi = 65\text{ %}$ . Všechny vzorky byly proměřeny třikrát a oproti Permetestu byl přístroj PSM - 2 schopen zaznamenat i vysoký výparný odpor vzorku 3 a 4, který se na Permetestu proměřit nepodařilo. V tabulce 4 jsou uvedené pouze průměrné hodnoty výparného odporu, hodnoty jednotlivých měření nalezneme v tabulce v příloze 2.

Tabulka 4: PSM - 2 – výparný odpor

Materiály:	Vzorky:	Průměrná hodnota výparného odporu [m²·Pa/W]	Variační koeficient [%]	Směrodatná odchylka [m²·Pa/W]
Tkaniny s vodoodpudivou úpravou	vzorek 1	2,07	10,75	0,22
	vzorek 2	3,13	11,22	0,35
Tkaniny se zátěrem	vzorek 3	37,21	9,09	3,39
	vzorek 4	28,49	4,47	1,27
Softshelly bez membrány	vzorek 5	2,7	5,15	0,14
	vzorek 6	3,96	6,43	0,25
Softshelly s neporézní membránou	vzorek 7	12,97	4,08	0,53
	vzorek 8	9,92	1,54	0,15
Tkaniny s neporézní membránou	vzorek 9	6,17	3,67	0,23
	vzorek 10	8,17	6,55	0,54
	vzorek 11	9,15	5,47	0,5
	vzorek 12	3,64	9,4	0,34
Tkanina s mikroporézní membránou	vzorek 13	2,64	5,19	0,14

### 6.1.4 Porovnání hodnot výparného odporu na Permetestu a na PSM - 2

Tabulka 5: Porovnání průměrných hodnot výparného odporu

Materiály:	Vzorky:	PERMETEST průměrná hodnota výparného odporu [m <sup>2</sup> ·Pa/W]	PSM - 2 průměrná hodnota výparného odporu [m <sup>2</sup> ·Pa/W]
Tkaniny s vodoodpudivou úpravou	vzorek 1	1,57	2,07
	vzorek 2	3,73	3,125
Tkaniny se zátěrem	vzorek 3		37,21
	vzorek 4		28,49
Softshelly bez membrány	vzorek 5	2,07	2,7
	vzorek 6	3,73	3,96
Softshelly s neporézní membránou	vzorek 7	31,06	12,97
	vzorek 8	18,23	9,92
Tkaniny s neporézní membránou	vzorek 9	9,07	6,17
	vzorek 10	12,2	8,17
	vzorek 11	17,03	9,15
	vzorek 12	3,03	3,64
Tkanina s mikroporézní membránou	vzorek 13	1,23	2,63

V tabulce 5 jsou zaznamenány průměrné hodnoty naměřené na Permetestu a PSM - 2 za stejných podmínek, tj.  $t = 35\text{ °C}$  a  $\phi = 40\%$ . Vzorky 3 a 4 nebylo možné proměřit přístrojem Permetest, proto jsme je z měření vyloučili, stejně jako i vzorek 7, který vykazoval zřejmou chybu při měření na PSM - 2. Výše zmíněné hodnoty jsou zvýrazněné šedou barvou.

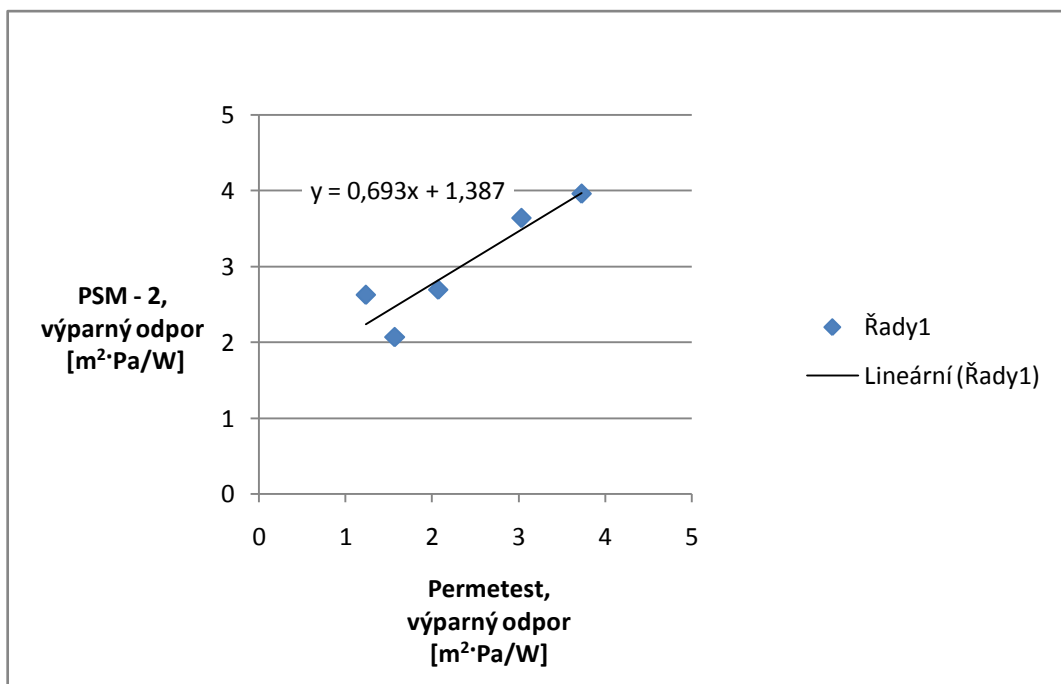
Porovnáme-li jednotlivé průměrné hodnoty, zjistíme, že u nízkých hodnot výparného odporu vychází rozdíl mezi daty z Permetestu a PSM - 2 velmi malý (viz vzorky 1, 2, 5, 6, 12, 13) a naopak u vyšších hodnot výparného odporu vychází rozdíl mezi daty větší. Tento rozdíl by mohl být způsoben menší chybou v konstrukci přístroje PSM - 2, která spočívá ve špatné izolaci. Díky ní není dodržena podmínka zcela nulového rozdílu teplot a dochází tak ke sdílení tepla zářením. Odstranění vady by mělo spočívat ve zhotovení nového měřicího kanálu z leštěného ocelového plechu s důkladně izolovaným vnějším povrchem [15].



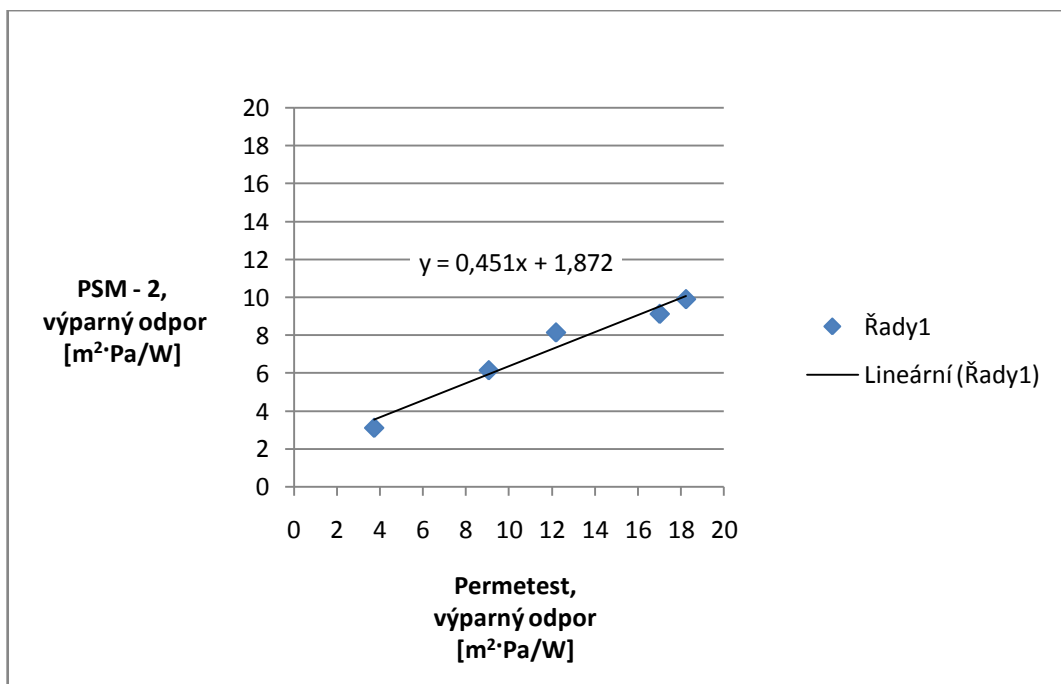
Oproti tomu výhodou PSM - 2 je schopnost přístroje změřit i velmi vysoké hodnoty výparného odporu, které již například Permetest není schopen zaznamenat.

Zde se projevil opět rozdíl mezi materiály, které membránu vůbec neobsahují nebo se jedná o mikroporézní membránu a materiály s membránou neporézní. U první skupiny vychází hodnoty výparného odporu na PSM - 2 a Permetestu s minimálními rozdíly, viz graf 7. Oproti tomu u druhé skupiny vychází hodnoty výparného odporu na PSM - 2 nižší, jak je patrné z grafu 8. Přesto je mezi daty naměřenými na přístroji Permetest a PSM - 2 závislost pozitivní.

Pokud by tedy byla menší konstrukční chyba u PSM - 2 odstraněna a u Permetestu dodržena delší doba měření pro materiály s neporézní membránou, lze se domnívat, že by tyto dva přístroje naměřily hodnoty výparného odporu s minimálními rozdíly.



Graf 7: Závislost mezi daty z Permetestu a PSM - 2



Graf 8: Závislost mezi daty z Permetestu a PSM - 2

## 6.2 Gravimetrické metody

Metody gravimetrické mají oproti metodám testování na skin modelech nevýhodu při vzájemném porovnávání naměřených hodnot v tom, že u nich hraje velkou roli rozdílný tlakový gradient. Ten však při výpočtu výsledné hodnoty paropropustnosti není u metod dle norem BS 7209 a ČSN 80 0855 zohledněn a stačí tedy změnit podmínky testování a hodnoty paropropustnosti vychází značně odlišné.

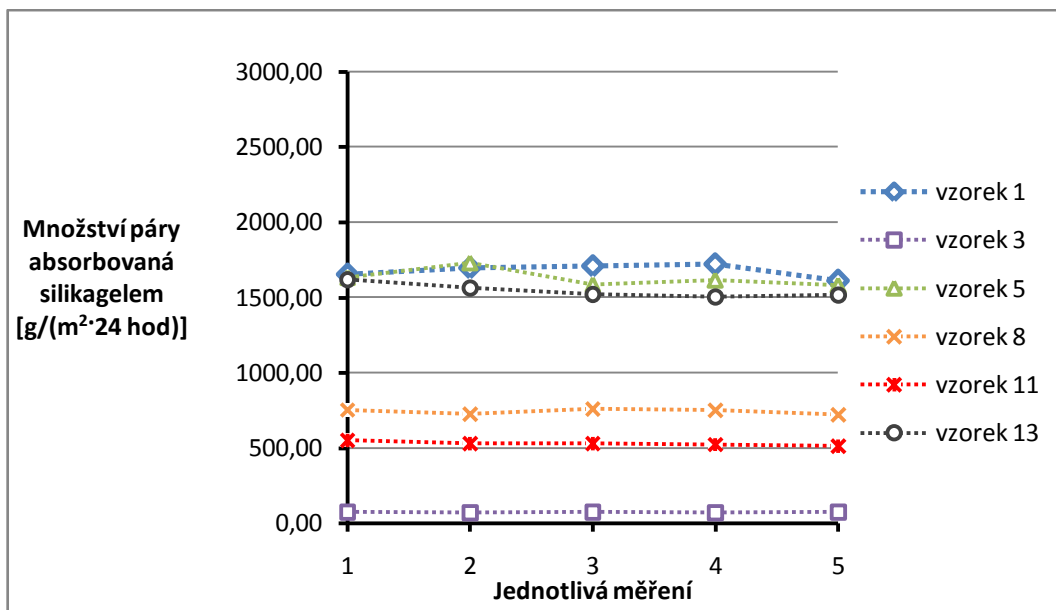
Pouze normy ČSN ISO 15496 a ISO 11092 obsahují ve vzorci přepočet výsledné hodnoty na diferenci tlaků, což se však v praxi u výrobců materiálů a následně i výrobců oděvů nepoužívá. Pro porovnání výsledků měření jednotlivými způsoby byly vybrané tyto metody:

- Metoda s absorbentem dle normy ČSN 80 0855.
- Klasická metoda dle normy BS 7209.
- Invertovaná metoda.

U všech metod byly nastaveny stejné podmínky testování, tj. teplota vzduchu  $t = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$  a relativní vlhkost okolí  $\varphi = 65 \pm 2\%$  a stejné podmínky pro klimatizování vzorků. Pro samotné testování byly vybrány vzorky tak, aby z každé skupiny materiálů byl proměřen vždy jeden vzorek. Před samotným měřením byly vzorky klimatizovány při relativně stabilních podmínkách laboratoře (při teplotě  $t = 21 - 23\text{ }^{\circ}\text{C}$  a relativní vlhkosti  $\varphi = 40\%$ ).

### 6.2.1 Metoda s absorbentem

První testovanou metodou byla starší metoda s absorbentem (silikagelem) dle normy ČSN 80 0855, která se již nepoužívá právě díky své nepřesnosti a také náročnosti měření. Odlišná je i rychlost proudění okolního vzduchu, která je u této metody 0,2 m/s místo standardního 1 m/s, jak je tomu u metod ostatních a jak je i uvedeno v normě ISO 11092. Přesto je tato metoda v práci zmíněna a také prakticky vyzkoušena. V grafu 9 je zobrazena variabilita jednotlivých měření u vybraných typů materiálů. Jednotlivé hodnoty všech měření nalezneme v příloze 3.



Graf 9: Množství páry absorbované absorbentem (silikagelem)

### 6.2.2 Porovnání klasické metody a metody invertované

V této kapitole je zkoumán vliv vzduchové mezery mezi vodní hladinou a testovanou textilií. U klasické metody by tato mezera měla činit cca 10 mm. To je však velikost, která je pouze na začátku měření a poté se s přibývajícím časem zvětšuje. Protože však vzduchová mezera může mít nižší propustnost pro vodní páry než některé textilie, může negativně ovlivnit výsledky měření.

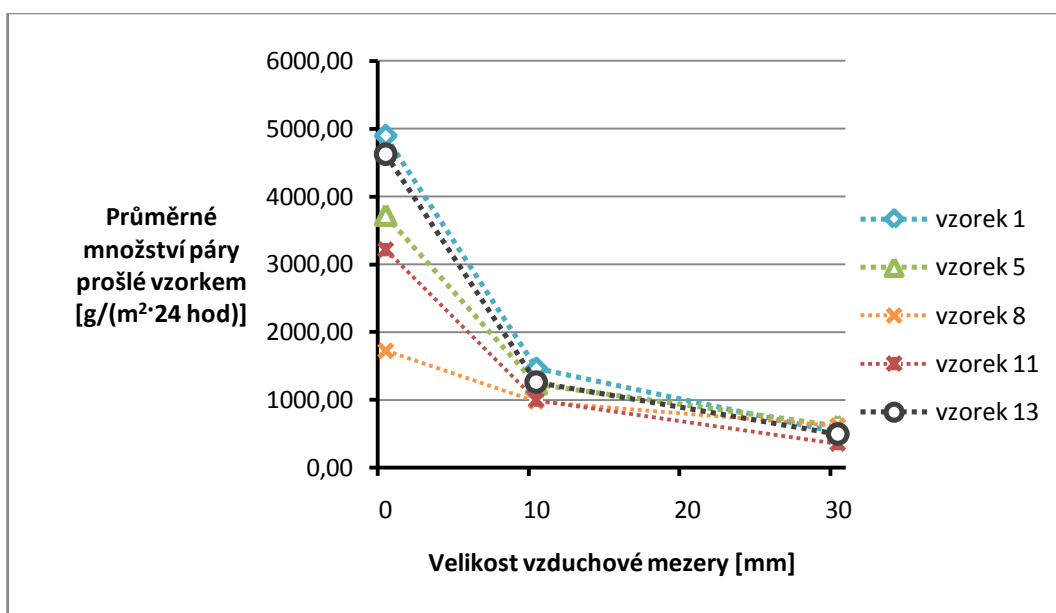
Pro experimentální účely byla tedy zvolena velikost mezery 10 mm (dle normy BS 7209) a velikost mezery 30 mm, která byla zvolena pouze pro ilustrační porovnání. Dále pak byla použita metoda invertovaná, pro kterou bylo třeba celou sestavu opatřit téměř 100% paropropustnou membránou a otočit ji dnem vzhůru, abychom dosáhli nulové mezery.

Výsledné množství páry, které prošlo daným vzorkem v  $\text{g}/(\text{m}^2 \cdot 24 \text{ h})$ , je zaznamenáno v tabulce 6 a grafu 10. Jednotlivé hodnoty ze všech měření jsou uvedené v přílohách 4, 5 a 6. Pouze téměř nepropustný vzorek 3 (materiál se zátěrem) vykazoval velmi nízké hodnoty, proto byl z měření vyloučen. V tabulce 6 je zvýrazněn šedou barvou a v grafu 10 zaznamenán není.

Z grafu 10 je patrné, že velikost mezery hraje významnou roli pro hodnocení paropropustnosti a že u metody invertované je množství páry prošlé vzorkem mnohem větší, než u metod klasických. Což je dáno hlavně prakticky nulovou mezerou mezi vodní hladinou a vzorkem. U vzduchové mezery cca do 5 mm nevzniká volná konvekce, u mezery do 10 mm se již projeví slabý vliv turbulence. Oproti tomu u 30 mm vzduchové mezery už vzniklá turbulence kompenzuje zvýšení tloušťky mezery, proto nejsou rozdíly tak výrazné jako mezi hodnotami u velikosti vzduchové mezery 0 a 10 mm.

Tabulka 6: Průměrné množství páry prošlé vzorkem - vliv velikosti vzduchové mezery

Vzorky:	Invertovaná metoda, mezera 0 mm [g/(m <sup>2</sup> ·24 h)]	Klasická metoda, mezera 10 mm [g/(m <sup>2</sup> ·24 h)]	Klasická metoda, mezera 30 mm [g/(m <sup>2</sup> ·24 h)]
<b>vzorek 1</b>	4897,41	1463,34	518,10
<b>vzorek 3</b>	152,03	84,00	337,02
<b>vzorek 5</b>	3721,78	1233,45	615,57
<b>vzorek 8</b>	1725,35	972,61	615,57
<b>vzorek 11</b>	3217,56	994,39	349,27
<b>vzorek 13</b>	4626,43	1255,56	492,95



Graf 10: Průměrné množství páry prošlé vzorkem - vliv velikosti vzduchové mezery

## 7.1 Permetest

Samotné měření na tomto přístroji je poměrně jednoduché a rychlé. Přístroj není drahý a je možné instalovat jej téměř kdekoliv. Při správném kalibračním postupu není třeba ani klimatizované místnosti, jak je tomu u jiných přístrojů. Jako další výhodu lze uvést i to, že je na tomto přístroji možné měřit hotové výrobky a to nedestrukčním způsobem. To u jiných metod ani přístrojů na měření paropropustnosti v současnosti možné není.

Jedinou nevýhodou je krátká doba měření, která u materiálů s neporézní membránou není dostatečná a hodnoty výparného odporu pak vychází vyšší. Testované materiály se pak jeví méně paropropustné, než je tomu ve skutečnosti. Tuto menší nedokonalost přístroje je možné odstranit jednak delším časovým intervalem mezi vložením materiálu a spuštěním tlačítka start, nebo vnitřním přestavením přístroje na dva časové režimy pro měření.

Ideální by pro praktické testování byla možnost přepínání mezi krátkým režimem měření (tj. 5 minut, jak je nastaveno na přístroji standardně) a režimem delším (cca 15 minut). Při samotném testování by pak bylo možné režim vybrat podle typu materiálů. U materiálů s neporézní membránou by se zvolil režim delší a u ostatních režim kratší.

## 7.2 PSM - 2

Podobně jako u Permetestu patří přístroj PSM - 2 mezi poměrně rychlé (cca 25 minut měření jednoho vzorku) a na obsluhu nenáročné metody testování paropropustnosti. Hlavní výhoda přístroje spočívá v jeho dobré reprodukovatelnosti výsledků, nízké variabilitě měření a možnosti proměření i materiálů s vysokými hodnotami výparného odporu.

Nevýhodou u tohoto přístroje je destruktivní způsob testování. Není tedy možné měřit hotové výrobky, ale je potřeba z nich vždy vystříhnout čtverec o straně cca 28 cm. Při samotném měření pak dochází k mírnému zvlnění vzorku, což úplně neodpovídá požadavkům pro měření uvedeným v normě ISO 11092. Zároveň se zde projevuje menší konstrukční vada přístroje, která je popsána v kapitole 6.1.4.

### 7.3 Metody gravimetrické

Při testování těmito metodami se vyskytovaly podobné problémy, spočívající především v nutnosti pečlivého a přesného vážení, perfektní přípravě testovaných vzorků a správném odměření at' již absorbentu (silikagelu), nebo destilované vody u metody klasické a invertované. Při testování je třeba využít klimatizovanou komoru, jejíž pořizovací cena je poměrně vysoká a cena měření se tím pádem značně zvýší.

Při samotném testování není jednoduché zajistit konstantní rychlost proudění okolo testované soustavy a to 1 m/s u metody klasické a invertované a u metody s absorbentem 0,2 m/s. Právě rychlost proudění je jedním z důvodů, proč výsledky metody s absorbentem neodpovídají výsledkům metody invertované a klasické. Dalším důvodem je pak rozdílný tlakový gradient, se kterým není ve výsledné hodnotě paropropustnosti při praktické testování počítáno, i když tento přepočet například norma ISO 11092 a ČSN ISO 15496 uvádí a je důležitý při testování za různých podmínek.

U metody klasické a invertované pak ještě přibýly problémy s manipulací vzorků, kdy se muselo dávat pozor, aby nedošlo k vylití, popřípadě namočení testovaného vzorku destilovanou vodou. Celé testování je tedy velmi citlivé na klimatické podmínky, vybavení laboratoře a schopnost člověka, který testování provádí. Vzhledem k malé ploše testovaného vzorku a následnému přepočtu na 1 m<sup>2</sup>, může lehce dojít k odchylkám v naměřených hodnotách stanovených vážením, které pak při dalším přepočtu na dobu 24 hodin způsobí už výrazné rozdíly.

## 7.4 Porovnání jednotlivých metod

V následující tabulce 7 jsou průměrné hodnoty u proměřených vzorků jednotlivými metodami. U přístroje Permetest a PSM - 2 jsou vypsány hodnoty výparného odporu, u metod gravimetrických pak průměrná hodnota hmotnosti páry, která prošla jednotlivými vzorky za 24 hodin. Z tabulky 7 je opět dobře patrný rozdíl mezi jednotlivými průměrnými hodnotami u metod gravimetrických, kde hraje největší roli velikost mezery mezi vzorky a vodní hladinou, dále pak vliv rozdílné rychlosti proudění u metody s absorbentem.

Tabulka 7: Porovnání všech metod pro testování paropropustnosti

Vzorky:	Výparný odpor [ $\text{m}^2 \cdot \text{Pa/W}$ ]			Množství páry prošlé vzorkem [ $\text{g}/(\text{m}^2 \cdot 24 \text{ h})$ ]			
	Permetest		PSM - 2	Metoda s absorbentem	Invertovaná metoda	Klasická metoda	
	t = 23 °C	t = 35 °C	t = 35 °C		mezera 0 mm	mezera 10 mm	mezera 30 mm
vzorek 1	0,94	1,57	2,07	1678,67	4897,41	1463,34	518,1
vzorek 2	2,32	3,73	3,13	-	-	-	-
vzorek 3	-	-	37,21	72,15	152,03	84	337,02
vzorek 4	-	-	28,49	-	-	-	-
vzorek 5	2,38	2,07	2,70	1628,85	3721,78	1233,45	615,57
vzorek 6	3,92	3,73	3,96	-	-	-	-
vzorek 7	38,14	31,07	12,97	-	-	-	-
vzorek 8	19,36	18,23	9,92	741,85	1725,35	972,61	615,57
vzorek 9	9,38	9,07	6,17	-	-	-	-
vzorek 10	12,70	12,20	8,17	-	-	-	-
vzorek 11	14,30	17,03	9,15	528,49	3217,56	994,39	349,27
vzorek 12	3,52	3,03	3,64	-	-	-	-
vzorek 13	1,38	1,23	2,64	1546,44	4626,43	1255,56	492,95



## **7. 5 Návrh vybavení mezinárodní laboratoře pro testování paropropustnosti**

Abychom mohli navrhnout vybavení mezinárodní laboratoře, bylo by nutné provést rozsáhlé soubory měření pro všechny metody v různých podmínkách. Na základě takto získaných hodnot bychom oddělily ty metody, u nichž se negativně projeví konstrukční nedostatky použitých přístrojů. Po odstranění těchto nedostatků by bylo nutné provést nové soubory měření a teprve poté se rozhodnout pro finální návrh vybavení. Takto rozsáhlé opakované měření však nebylo jak z technických, tak i časových důvodů možné. Přesto bychom mohli shrnout alespoň základní poznatky, které z dané práce vyplynuly.

Hlavní otázkou pro koncového zákazníka, který si zboží chce zakoupit, je především to, co vlastně hodnota uvedená na visače jím zakoupeného výrobku udává. Většinou jsou na ní uvedena dvě čísla. První udává tzv. vodní sloupec a druhý právě paropropustnost textilie. Podle jaké normy je však tato hodnota otestovaná a za jakých klimatických podmínek? To už se koncový zákazník a mnohdy ani výrobce oděvů, jež si materiály objednává, nedozví.

A právě podmínky, za kterých testování probíhá, můžou výslednou hodnotu značně ovlivnit. To se týká především metod gravimetrických, které se v asijských zemích, odkud se k nám většina textilních výrobků dováží, pro testování používají. Jak je patrné především z poslední tabulky 7, mohou podmínky výsledek měření významně ovlivnit. Avšak například u Permetestu vliv podmínek testování významný není. U přístroje PSM - 2 zase nelze testovat za jiných podmínek, než je uvedeno v normě ISO 11092, proto musí být dané podmínky dodrženy a zákazník se tak nemusí obávat, zda hodnoty z tohoto přístroje skutečně respektují normu ISO 11092.

Proto by všechny mezinárodní laboratoře pro testování měly obsahovat jeden z přístrojů typu skin model, mezi které řadíme přístroj Permetest a přístroj PSM - 2. Permetest pak lze navíc použít všude tam, kde je potřeba nedestrukčního a rychlého testování pro hotové textilní výrobky.

V současnosti však většina výrobců materiálů uvádí hodnotu paropropustnosti daného materiálu v jednotkách  $\text{g}/(\text{m}^2 \cdot 24 \text{ h})$ , která je pro zákazníka srozumitelnější. Proto se lze domnívat, že bude potřeba alespoň ještě nějaký čas testovat paropropustnost materiálů i podle metod gravimetrických. A to alespoň do té doby, než se podaří prosadit jako základní hodnotu paropropustnosti materiálu výparný odpor v jednotkách  $\text{m}^2 \cdot \text{Pa}/\text{W}$ .

Pro testování gravimetrickými metodami je potřeba laboratoř vybavit klimatizací, analytickými váhami s přesností  $10^{-4} \text{ g}$ , klimatizovanou skříní a dalšími drobnými pomůckami, uvedenými v jednotlivých normách. Vzhledem k náročnosti testování je třeba i proškolený personál, který bude měření provádět. Z metod, které jsou zde vyzkoušené, je ideální metoda invertovaná, kdy je odstraněn vliv vzduchové mezery, jež výsledné hodnoty značně ovlivňuje.

Tato náročnost testovat paropropustnosti gravimetrickými metodami zároveň zvyšuje pravděpodobnost rozdílné úrovně výsledků jednotlivých laboratoří. Z uvedených důvodů lze konstatovat nevhodnost gravimetrických metod pro praktické testování paropropustnosti textilních materiálů.

Do budoucna by bylo vhodnější usilovat o rozšíření a prosazení testování paropropustnosti pomocí výparného odporu i v ostatních státech. A zároveň zajistit možnost testování i pro širší veřejnost a firmy, které by si tak mohly ověřit nejen kvalitu nakoupených materiálů, ale i výrobků, které určité hodnoty paropropustnosti slibují.

Zavedení dostupného testování pro paropropustnost by zlepšilo prodejnost některých značek, které si právě kvalitu svých materiálů a hotových výrobků testují a zároveň snížilo prodejnost značek nekvalitních, které své zákazníky mnohdy klamou visačkami se nereálnými hodnotami paropropustnosti.

## **Závěr**

V práci jsem se snažila obsáhnout aktuální situaci v oblasti testování paropropustnosti textilních materiálů. S postupným hlubším proniknutím do této problematiky a za pomoci vedoucího mé diplomové práce jsem mohla přesněji specifikovat oblast zkoumání. Do značné míry mě ovlivnil i stávající stav platných norem, včetně nejednotnosti údajů o hodnotách paropropustnosti, které výrobci textilních materiálů u svých výrobků uvádějí. Významný vliv na konečnou podobu této práce měla i dostupnost jak přístrojů a jejich technický stav, tak i textilních materiálů pro testování.

V teoretické části je proto stručně popsána daná problematika spolu s podrobnějším popisem jednotlivých metod a norem, kterými se testování paropropustnosti v současné době řídí. Zároveň je zde shrnuto několik poznatků z předchozích prací podobného tématu, z nichž některé jsou dále zkoumány v části praktické. Aby bylo možné provést porovnání mezi jednotlivými metodami, bylo třeba vybrat vhodné materiály pro testování. V práci je proto zkoumáno několik druhů funkčních materiálů, mezi nimi například materiály s porezní či neporézní membránou, materiály s vodoodpudivou úpravou, se zátěry, dále pak tzv. softshelly s membránou i bez membrány.

V první části testování proběhla rozsáhlá měření všech vybraných materiálů (13 vzorků) na skin modelu Permetest za různých klimatických podmínek a při různých časových režimech a na skin modelu PSM - 2, kde nebylo možné podmínky testování libovolně měnit. Získaná data z Permetestu potvrdila některé předpoklady. Především to, že u materiálů, které obsahují neporézní membránu, je třeba nastavit delší dobu měření, než je standardních 5 minut, dále pak malý vliv teploty na výsledky měření. I vzhledem k malému počtu měření a přirozené variabilitě testovaných vzorků se lze domnívat, že je vliv teploty na hodnoty výparného odporu skutečně minimální.

Při porovnání hodnot výparného odporu z PSM - 2 a Permetestu lze konstatovat, že oba dva přístroje měří hodnoty výparného odporu u velmi paropropustných materiálů s nízkými odchylkami, avšak u materiálů s vyššími hodnotami výparného odporu se odchylky zvyšují. Tento problém však s největší pravděpodobností způsobila menší konstrukční chyba přístroje PSM - 2, dle získané výzkumné zprávy z Clutexu, která popisuje vliv špatné izolace u měřícího kanálu přístroje [15].

Pokud by se tato vada odstranila, dosáhli bychom přesnějších výsledků měření a pravděpodobně bychom získali z obou přístrojů téměř shodné hodnoty. To by však bylo potřeba ještě v praxi otestovat a provést nové soubory měření na obou přístrojích.

Kvůli náročnosti testování nebylo možné gravimetrickými metodami otestovat veškeré vybrané materiály, proto byl z každé skupiny testovaných materiálů vybrán pouze jeden a ten se testoval dále. Cílem testování u metod gravimetrických bylo jednak zjistit vliv vzduchové mezery mezi vzorkem a vodní hladinou a zároveň jednotlivé metody vzájemně porovnat. Testovaly se tyto metody: metoda s absorbentem (silikagelem), klasická metoda s 10 mm mezerou a 30 mm mezerou mezi vodní hladinou a vzorkem a metoda invertovaná. Metoda s absorbentem se v současné době již nepoužívá, protože jsou u ní jiné podmínky testování a to především rychlost proudění, která je pro výsledné hodnoty paropropustnosti zásadní. Přesto je v práci otestovaná.

Při porovnání výsledků se potvrdil předpoklad vlivu vzduchové mezery na výsledné hodnoty paropropustnosti, kdy u nulové mezery u metody invertované hodnoty paropropustnosti rapidně stouply. Obecně lze také konstatovat, že veškeré testované gravimetrické metody jsou značně náročné na čas, schopnost obsluhy, dodržení klimatických podmínek testování a také manipulaci se vzorky, kdy je zcela zásadní opatrnost, aby nedošlo k vylití tekutiny a potřísnění testovaného vzorku.

Problémem je také dodržení dalších podmínek testování, především teploty a vlhkosti, která u těchto metod hraje zcela zásadní roli. Bohužel výrobci materiálů často uvádí hodnoty paropropustnosti pouze v jednotkách  $\text{g}/(\text{m}^2 \cdot 24 \text{ h})$  a již nezmiňují přepočet na diferenci tlaků, jak je zmíněno v normě ISO 11092 a ČSN ISO 15496. Proto se často stává, že se hodnoty u jednotlivých výrobců materiálů značně liší. Zavedením povinnosti testovat textilní materiály pomocí tzv. malých skin modelů (Permetestu či PSM - 2) by se výsledky sjednotily a zákazník by měl jistotu, že hodnota paropropustnosti u výrobku, který si zakoupil, skutečně odpovídá tomu, co uvádí jeho výrobce.

Výsledky této práce nelze brát jako definitivní, ale bylo by vhodné v dané problematice pokračovat a vyzkoušet i další metody, které se (i když v menší míře) pro testování paropropustnosti využívají.

## Seznam použitých zdrojů

### Seznam použité literatury a internetových zdrojů

[1] ARCHALOUS, Petr. *Transport vlhkosti sendvičovým materiálem hasičských uniforem*. Liberec, 2011. 106 s. Diplomová práce. Technická univerzita, Textilní fakulta.

[2] Clothing Physiological Research in the service of wear comfort. *The Hohenstein Institute* [online]. 22. prosince 2009 [cit. 2011-03-18]. Dostupné z WWW: <[http://www.hohenstein.com.tr/ximages/1400479\\_broschuere.pdf](http://www.hohenstein.com.tr/ximages/1400479_broschuere.pdf)>.

[3] Composition and function of the membrane. *Sympatex membrane: Structure & Function* [online]. c2011, 1. března 2011 [cit. 2011-03-01]. Dostupné z WWW: <[http://www.sympatex.com/technologien/membran\\_und\\_laminate/aufbau\\_und\\_funktion\\_der\\_membran](http://www.sympatex.com/technologien/membran_und_laminate/aufbau_und_funktion_der_membran)>.

[4] Co to jsou smart textilie?. *EnviWeb* [online]. c2003-2010, 2. března 2011 [cit. 2011-03-02]. Dostupné z WWW: <<http://www.enviweb.cz/clanek/obecne/68946/co-to-jsou-smart-textilie>>. ISSN 1803-6686.

[5] DRAŠAROVÁ, Jana. Funkční textilie - sport, outdoor. *Vysocefunkční textilie* [online]. Liberec. 16. 7. 2008, poslední změna 28. 2. 2011 [cit. 2011-02-28]. Dostupné z WWW: <<https://skripta.ft.tul.cz/database/data/2008-07-18/11-11-27.pdf>>

[6] Durable Water Repellent. In *Wikipedia : the free encyclopedia* [online]. St. Petersburg (Florida) : Wikipedia Foundation, 11 November 2005, last modified on 26. December 2010 [cit. 2011-02-28]. Dostupné z WWW: <[http://en.wikipedia.org/wiki/Durable\\_Water\\_Repellent](http://en.wikipedia.org/wiki/Durable_Water_Repellent)>.

[7] FLÉGLOVÁ, Zuzana. SKIN - MODEL. *Katedra oděvnictví* [online]. 19. 10. 2009 [cit. 2011-04-11]. Dostupné z WWW: <[http://www.kod.tul.cz/predmety/OM/cvi%C4%8Den%C3%AD/SKIN\\_MODEL1.pdf](http://www.kod.tul.cz/predmety/OM/cvi%C4%8Den%C3%AD/SKIN_MODEL1.pdf)>

- [8] GIBSON, Phil. "Breathability" Comparison of Commercial Outerwear Shell Layers. *Macpac* [online]. 16. 2. 2009, poslední změna 18. 2. 2009 [cit. 2011-02-28]. Dostupné z WWW: <<http://www.marpac.co.nz/files/event-fabric-comparison.pdf>>.
- [9] GLOMBÍKOVÁ, Viera. Fyziologické vlastnosti textilií. *Skripta - info : Kapitola 2* [online]. 16. 11. 2006, 6. 10. 2008 [cit. 2011-03-18]. Dostupné z WWW: <[http://www.kod.tul.cz/info\\_predmety/Om/prednasky/stare/prednaska\\_2\\_viera.pdf](http://www.kod.tul.cz/info_predmety/Om/prednasky/stare/prednaska_2_viera.pdf)>.
- [10] GLOMBÍKOVÁ, Viera. Fyziologické vlastnosti textilií. *Skripta – info : Kapitola 3* [online]. 14. 12. 2006, 6. 10. 2008 [cit. 2011-03-02]. Dostupné z WWW: <[http://www.kod.tul.cz/info\\_predmety/Om/prednasky/stare/prednaska\\_3b\\_viera.pdf](http://www.kod.tul.cz/info_predmety/Om/prednasky/stare/prednaska_3b_viera.pdf)>.
- [11] HES, Luboš. *Alternative methods of determination of water vapour resistance of fabrics by means of a Skin Model*. In: Europ. Conf. on Protective Clothing, Gdynia (Poland), 2006.
- [12] HES, Luboš. *Non-destruction determination of comfort parameters during marketing of functional garment and clothing*. Indian Journal of Fiber and Text. Research 33. 2008.
- [13] HES, Luboš, ARAUJO, L.. *Simulation of the Effect of Air Gaps between the Skin and a Wet Fabric on Resulting Cooling Flow*. Text. Res. Journal Vol 80(14), pp.1488–1497, 2010. ISSN 0040-5175.
- [14] HES, Luboš; SLUKA, Petr. *Úvod do komfortu textilií*. vydání první. Liberec : Technická univerzita, 2005. 109 s. ISBN 80-7083-926-0.
- [15] HES, Luboš. *Výzkumná zpráva pro CLUTEX : klastr Technické textilie*, o. s., na základě objednávky č. 2010033. V Liberci : [s.n.], 2011. s. 45.
- [16] HOLEMÁ, Kristýna. *Vliv teploty a vlhkosti vzduchu na měření termofyziologických vlastností textilií pomocí skin modelu*. Liberec, 2010. 50 s. Bakalářská práce. Technická univerzita, Textilní fakulta.

- [17] LYSSY product catalog. *Welcome to perfomax* [online]. 16.11.2004, 5.9.2005 [cit. 2011-03-20]. Dostupné z WWW: <<http://www.perfomaxtech.com/LYSSY%20product%20catalog.pdf>>.
- [18] NOVOTNÁ, Martina. *Paropropustnost membránových textilií s repelentní úpravou po expozici vodní sprchou*. Liberec, 2010. 45 s. Bakalářská práce. Technická univerzita, Textilní fakulta.
- [19] Our Technologies. Membrane - GORE-TEX. [online]. c2011, 1. března 2011 [cit. 2011-03-01]. Dostupné z WWW: <<http://www.gore-tex.com/remote/Satellite/content/what-is-gore-tex-membrane>>.
- [20] REKOVÁ, Miloslava. *Vliv struktury vzorku na měření paropropustnosti dle normy ISO 11092*. Liberec, 2010. 45 s. Bakalářská práce. Technická univerzita, Textilní fakulta.
- [21] Smart textiles. In *Wikipedia : the free encyclopedia* [online]. St. Petersburg (Florida) : Wikipedia Foundation, 20 December 2008, last modified on 5 February 2011 [cit. 2011-02-27]. Dostupné z WWW: <[http://en.wikipedia.org/wiki/Smart\\_textiles](http://en.wikipedia.org/wiki/Smart_textiles)>.
- [22] STANĚK, David. *Hodnocení komfortu ochranných oděvů příslušníků jednotek PO za standardních a extrémních podmínek při zásahu*. Ostrava, 2008. 67 s. Diplomová práce. Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava. Fakulta bezpečnostního inženýrství
- [23] Ventile® High Performance 100% Cotton Fabrics - History. *High Performance 100% Cotton Fabrics* [online]. 2010, 10. 9. 2010 [cit. 2011-02-27]. Dostupné z WWW: <<http://www.ventile.co.uk/history.html>>.

## Seznam ostatních pramenů

- [24] BS 7209:1990. *Specification for water vapour permeable apparel fabrics*. [s.l.] : [s.n.], 1990. 16 s.
- [25] ČSN EN 80 0855. *Zjišťování relativní propustnosti vodních par plošných textilií*. Praha 10 : ÚNM, 1976. 4 s.
- [26] ISO 11092: 1993. *Textiles - Physiological effects - Measurement of thermal and water-vapour resistance under steady-state conditions (sweating guarded-hotplate test)*. [s.l.] : [s.n.], 1993. 10 s.
- [27] ISO/ WD 15496: 1999. *Textiles - Measurement of water vapour permeability of textiles for the purpose of quality control*. [s.l.] : [s.n.], 1999. 12 s.

## Seznam obrázků, grafů a tabulek

- Obr. 1: Schéma uspořádání pro testování pohárkovou metodou [27]
- Obr. 2: Farnworthův difuzimetr [14]
- Obr. 3: Hohenstein - skin model [9]
- Obr. 4: Schéma přístroje Permetest [4]
- Obr. 5: Přístroj PSM - 2 [7]
- Obr. 6: Přístroj pro měření metodou LYSSY [17]
- Obr. 7: Schéma prostupu vodní páry u metody LYSSY [17]
- Obr. 8: Tepelný manekýn ADAM [10]
- Obr. 9: Vzorek 1 (lící strana)
- Obr. 10: Vzorek 2 (lící strana)
- Obr. 11: Vzorek 3 (lící strana)
- Obr. 12: Vzorek 4 (lící strana)
- Obr. 13: Vzorek 5 (lící a rubní strana)
- Obr. 14: Vzorek 6 (lící a rubní strana)
- Obr. 15: Vzorek 7 (lící a rubní strana)
- Obr. 16: Vzorek 8 (lící a rubní strana)



Obr. 17: Vzorek 9 (lící strana)  
Obr. 18: Vzorek 10 (lící strana)  
Obr. 19: Vzorek 11 (lící strana)  
Obr. 20: Vzorek 12 (lící strana)  
Obr. 21: Vzorek 13 (lící strana)

Tabulka 1: Rozdělní materiálů do skupin a jejich barevné rozlišení

Tabulka 2: Permetest – výparný odpor

Tabulka 3: Permetest – relativní paropropustnost

Tabulka 4: PSM - 2 – výparný odpor

Tabulka 5: Porovnání průměrných hodnot výparného odporu

Tabulka 6: Průměrné množství páry prošlé vzorkem - vliv velikosti vzduchové mezery

Tabulka 7: Porovnání všech metod pro testování paropropustnosti

Graf 1: Tok vodní páry [ $\text{g}/(\text{m}^2 \cdot 24 \text{ h})$ ] [8]

Graf 2: Permetest – výparný odpor – variabilita měření

Graf 3: Permetest – relativní paropropustnost – variabilita měření

Graf 4: Permetest – výparný odpor, vliv doby měření

Graf 5: Permetest – výparný odpor, vliv doby měření

Graf 6: Permetest – výparný odpor, vliv teploty

Graf 7: Závislost mezi daty z Permetestu a PSM - 2

Graf 8: Závislost mezi daty z Permetestu a PSM - 2

Graf 9: Množství páry absorbované absorbentem (silikagelem)

Graf 10: Průměrné množství páry prošlé vzorkem - vliv velikosti vzduchové mezery

## **Seznam příloh**

Příloha 1: Permetest: Hodnoty výparného odporu

Příloha 2: PSM - 2: Hodnoty výparného odporu

Příloha 3: Metoda s absorbentem

Příloha 4: Invertovaná metoda

Příloha 5: Klasická metoda (mezera mezi vodní hladinou a testovanou textilií = 10 mm)

Příloha 6: Klasická metoda (mezera mezi vodní hladinou a testovanou textilií = 30 mm)

## **Příloha 1**

## Permetest: Hodnoty výparného odporu

Vzorky:		teplota	test 1	test 2	test 3	test 4	test 5	průměrná hodnota	variační koeficient [%]	směrodatná odchylka
vzorek 1	Relativní paropropustnost [%]	23 °C	84,40	83,70	84,80	84,00	84,20	<b>84,22</b>	0,49	0,41
		35 °C	69,10	67,90	88,90			<b>75,30</b>	15,66	11,79
	Výparný odpor [m <sup>2</sup> ·Pa/W]	23 °C	0,90	1,00	0,90	1,00	0,90	<b>0,94</b>	5,83	0,05
		35 °C	1,90	2,00	0,80			<b>1,57</b>	42,50	0,67
vzorek 2	Relativní paropropustnost [%]	23 °C	65,60	66,50	69,50	71,50	69,60	<b>68,54</b>	3,54	2,43
		35 °C	61,40	54,30	57,00			<b>57,57</b>	6,23	3,58
	Výparný odpor [m <sup>2</sup> ·Pa/W]	23 °C	2,60	2,60	2,20	2,00	2,20	<b>2,32</b>	11,57	0,27
		35 °C	3,40	4,40	3,40			<b>3,73</b>	15,46	0,58
vzorek 5	Relativní paropropustnost [%]	23 °C	69,70	68,70	68,60	65,80	66,00	<b>67,76</b>	2,59	1,75
		35 °C	72,60	80,60	73,90			<b>75,70</b>	5,67	4,29
	Výparný odpor [m <sup>2</sup> ·Pa/W]	23 °C	2,20	2,30	2,30	2,50	2,60	<b>2,38</b>	6,90	0,16
		35 °C	2,40	1,60	2,20			<b>2,07</b>	20,15	0,42
vzorek 6	Relativní paropropustnost [%]	23 °C	58,30	56,90	58,60	58,00	58,10	<b>57,98</b>	1,11	0,65
		35 °C	65,10	63,50	60,80			<b>63,13</b>	3,44	2,17
	Výparný odpor [m <sup>2</sup> ·Pa/W]	23 °C	3,90	4,10	3,80	3,90	3,90	<b>3,92</b>	2,79	0,11
		35 °C	3,40	3,70	4,10			<b>3,73</b>	9,41	0,35
vzorek 7	Relativní paropropustnost [%]	23 °C	9,00	8,80	8,70	8,60	8,20	<b>8,66</b>	3,43	0,30
		35 °C	18,60	18,50	18,20			<b>18,43</b>	1,13	0,21
	Výparný odpor [m <sup>2</sup> ·Pa/W]	23 °C	37,50	37,10	38,20	38,40	39,50	<b>38,14</b>	2,42	0,92
		35 °C	30,40	31,50	31,30			<b>31,07</b>	1,89	0,59
vzorek 8	Relativní paropropustnost [%]	23 °C	19,40	18,60	22,70	21,80	22,20	<b>20,94</b>	8,70	1,82
		35 °C	26,90	26,50	27,40			<b>26,93</b>	1,67	0,45
	Výparný odpor [m <sup>2</sup> ·Pa/W]	23 °C	20,50	20,00	18,20	19,60	18,50	<b>19,36</b>	5,07	0,98
		35 °C	19,20	19,10	16,40			<b>18,23</b>	8,71	1,59
vzorek 9	Relativní paropropustnost [%]	23 °C	35,80	35,40	34,80	36,00	36,80	<b>35,76</b>	2,07	0,74
		35 °C	38,80	41,50	45,70			<b>42,00</b>	8,28	3,48
	Výparný odpor [m <sup>2</sup> ·Pa/W]	23 °C	9,40	9,40	9,90	9,20	9,00	<b>9,38</b>	3,57	0,33
		35 °C	9,90	9,20	8,10			<b>9,07</b>	10,01	0,91
vzorek 10	Relativní paropropustnost [%]	23 °C	35,70	33,70	36,00	30,40	36,00	<b>34,36</b>	7,02	2,41
		35 °C	35,50	35,20	33,10			<b>34,60</b>	3,78	1,31
	Výparný odpor [m <sup>2</sup> ·Pa/W]	23 °C	12,90	14,00	12,50	11,30	12,80	<b>12,70</b>	7,61	0,97
		35 °C	11,90	11,70	13,00			<b>12,20</b>	5,74	0,70
vzorek 11	Relativní paropropustnost [%]	23 °C	28,42	28,20	27,10	27,80	27,20	<b>27,74</b>	2,12	0,59
		35 °C	27,60	26,90	28,50			<b>27,67</b>	2,90	0,80
	Výparný odpor [m <sup>2</sup> ·Pa/W]	23 °C	13,20	14,70	13,70	15,10	14,80	<b>14,30</b>	5,66	0,81
		35 °C	17,30	17,60	16,20			<b>17,03</b>	4,33	0,74
vzorek 12	Relativní paropropustnost [%]	23 °C	61,50	59,10	60,90	58,50	64,30	<b>60,86</b>	3,76	2,29
		35 °C	68,30	69,60	68,30			<b>68,73</b>	1,09	0,75
	Výparný odpor [m <sup>2</sup> ·Pa/W]	23 °C	3,30	3,60	3,50	3,90	3,30	<b>3,52</b>	7,07	0,25
		35 °C	3,10	2,90	3,10			<b>3,03</b>	3,81	0,12
vzorek 13	Relativní paropropustnost [%]	23 °C	77,60	76,80	78,60	80,00	78,30	<b>78,26</b>	1,53	1,19
		35 °C	83,40	83,40	86,40			<b>84,40</b>	2,05	1,73
	Výparný odpor [m <sup>2</sup> ·Pa/W]	23 °C	1,40	1,50	1,40	1,20	1,40	<b>1,38</b>	7,94	0,11
		35 °C	1,30	1,30	1,10			<b>1,23</b>	9,36	0,12

## **Příloha 2**

## PSM - 2: Hodnoty výparného odporu

Vzorky:	Výparný odpor [ $\text{m}^2\text{Pa/W}$ ]				variační koeficient [%]	směrodatná odchylka [ $\text{g/m}^2$ ]
	test 1	test 2	test 3	průměrná hodnota		
vzorek 1	2,24	1,819	2,155	<b>2,07</b>	10,75	0,22
vzorek 2	2,795	3,493	3,087	<b>3,13</b>	11,22	0,35
vzorek 3	35,934	34,653	41,052	<b>37,21</b>	9,09	3,39
vzorek 4	29,962	27,687	27,832	<b>28,49</b>	4,47	1,27
vzorek 5	2,842	2,565	2,686	<b>2,70</b>	5,15	0,14
vzorek 6	4,22	3,932	3,713	<b>3,96</b>	6,43	0,25
vzorek 7	13,401	12,38	13,135	<b>12,97</b>	4,08	0,53
vzorek 8	10,01	9,745	10,009	<b>9,92</b>	1,54	0,15
vzorek 9	6,02	6,064	6,432	<b>6,17</b>	3,67	0,23
vzorek 10	8,773	7,761	7,965	<b>8,17</b>	6,55	0,54
vzorek 11	9,645	9,152	8,644	<b>9,15</b>	5,47	0,50
vzorek 12	3,975	3,291	3,666	<b>3,64</b>	9,40	0,34
vzorek 13	2,479	2,732	2,696	<b>2,64</b>	5,19	0,14

### **Příloha 3**

## Metoda s absorbentem

Vzorky:	Množství páry absorbované silikagelem - se vzorkem [g/m <sup>2</sup> ]							variační koeficient [%]	směrodatná odchylka [g/m <sup>2</sup> ]
		test 1	test 2	test 3	test 4	test 5	průměrná hodnota		
vzorek 1	po 3 h	206,89	212,11	213,90	215,06	201,21	209,50		
	po 24 h	1655,11	1696,85	1711,21	1720,51	1609,66	1678,67	2,74	45,98
vzorek 3	po 3 h	9,27	8,94	9,14	8,54	9,20	9,10		
	po 24 h	74,17	71,51	73,11	68,32	73,64	72,15	3,27	2,36
vzorek 5	po 3 h	204,16	216,36	198,32	201,67	197,52	210,26		
	po 24 h	1633,32	1730,88	1586,53	1613,38	1580,15	1628,85	3,74	60,89
vzorek 8	po 3 h	94,14	90,65	94,87	93,74	90,25	92,40		
	po 24 h	753,12	725,21	758,97	749,93	722,02	741,85	2,29	17,00
vzorek 11	po 3 h	68,69	66,23	66,13	65,40	63,87	67,46		
	po 24 h	549,49	529,82	529,02	523,17	510,94	528,49	2,64	13,96
vzorek 13	po 3 h	202,54	195,62	190,27	188,25	189,84	199,08		
	po 24 h	1620,29	1564,99	1522,19	1505,98	1518,74	1546,44	3,03	46,88
testování bez vzorku pro:	Množství páry absorbované silikagelem – bez vzorku [g/m <sup>2</sup> ]							relativní paropropustnost testovaného vzorku [%]	
		test 1	test 2	test 3	test 4	test 5	průměrná hodnota		
vzorek 1	po 3 h	408,43	431,19	434,08	376,53	425,34	349,71		
	po 24 h	3267,43	3449,53	3472,66	3012,22	3402,74	3320,91	50,55	
vzorek 3	po 3 h	383,77	400,29	405,07	360,58	403,64	264,39		
	po 24 h	3070,18	3202,30	3240,58	2884,62	3229,15	3125,36	2,31	
vzorek 5	po 3 h	422,22	434,71	432,69	407,56	462,93	355,73		
	po 24 h	3377,75	3477,71	3461,49	3260,52	3703,40	3456,17	47,13	
vzorek 8	po 3 h	388,46	406,10	391,98	374,23	418,33	295,65		
	po 24 h	3107,66	3248,82	3135,84	2993,88	3346,65	3166,57	23,43	
vzorek 11	po 3 h	404,84	419,76	430,23	375,96	425,14	297,35		
	po 24 h	3238,72	3358,08	3441,82	3007,70	3401,15	3289,49	16,07	
vzorek 13	po 3 h	396,53	412,58	424,88	372,44	402,88	336,06		
	po 24 h	3172,26	3300,66	3399,02	2979,52	3223,03	3214,90	48,10	

## **Příloha 4**



## Invertovaná metoda

Vzorky:	Množství páry prošlé vzorkem [g/m <sup>2</sup> ]							variační koeficient [%]	směrodatná odchylka [g/m <sup>2</sup> ]
		test 1	test 2	test 3	test 4	test 5	průměrná hodnota		
vzorek 1	po 2 h	408,44	371,56	394,25	428,29	417,34	403,98		
	po 2 h	368,73	436,80	442,47	405,60	456,24	421,97		
	po 2 h	360,22	371,56	377,24	391,42	491,61	398,41		
	po 24 h	4549,51	4719,69	4855,84	4901,22	5460,78	4897,41	7,01	343,42
vzorek 3	po 2 h	8,51	11,35	5,67	22,69	17,68	13,18		
	po 2 h	14,18	19,85	25,53	5,67	7,07	14,46		
	po 2 h	11,35	14,18	8,51	14,18	10,61	11,77		
	po 24 h	136,15	181,53	158,84	170,18	113,45	152,03	17,97	27,32
vzorek 5	po 2 h	335,99	339,53	346,60	198,54	297,82	303,70		
	po 2 h	374,90	314,77	297,09	428,29	286,47	340,30		
	po 2 h	332,46	282,94	314,77	238,25	263,78	286,44		
	po 24 h	4173,40	3748,98	3833,87	3460,35	3392,28	3721,78	8,43	313,92
vzorek 8	po 2 h	127,32	164,51	156,00	153,16	164,51	153,10		
	po 2 h	145,01	138,98	130,47	113,45	130,47	131,68		
	po 2 h	162,69	144,65	138,98	127,64	158,84	146,56		
	po 24 h	1740,09	1792,58	1701,81	1577,01	1815,27	1725,35	5,45	94,05
vzorek 11	po 2 h	244,04	394,25	314,77	246,76	238,25	287,62		
	po 2 h	226,35	431,13	236,96	269,45	243,93	281,56		
	po 2 h	233,43	502,03	244,04	266,62	226,91	294,61		
	po 24 h	2257,74	5309,66	2552,72	3131,34	2836,35	3217,56	37,72	1213,76
vzorek 13	po 2 h	509,30	357,38	439,63	388,58	408,44	420,67		
	po 2 h	417,34	385,74	388,58	351,71	326,18	373,91		
	po 2 h	346,60	348,87	397,09	374,40	343,20	362,03		
	po 24 h	5092,96	4367,99	4901,22	4458,75	4311,26	4626,43	7,55	349,07

## **Příloha 5**

## Klasická metoda (mezera mezi vodní hladinou a testovanou textilií 10 mm)

Vzorky:	Množství páry prošlé vzorkem [g/m <sup>2</sup> ]							variační koeficient [%]	směrodatná odchylka [g/m <sup>2</sup> ]
		test 1	test 2	test 3	test 4	test 5	průměrná hodnota		
vzorek 1	po 2 h	149,21	143,68	138,16	111,80	138,11	136,19		
	po 2 h	138,16	171,31	143,68	124,96	144,69	144,56		
	po 2 h	110,52	110,52	116,05	98,65	105,23	108,20		
	po 24 h	1591,55	1702,07	1591,55	1127,35	1304,19	1463,34	16,32	238,79
vzorek 3	po 2 h	0,00	5,53	0,00	26,31	6,58	7,68		
	po 2 h	11,05	11,05	0,00	13,15	6,58	8,37		
	po 2 h	11,05	0,00	6,58	6,58	13,15	7,47		
	po 24 h	88,42	66,31	22,10	154,73	88,42	84,00	57,05	47,92
vzorek 5	po 2 h	105,00	121,58	105,00	170,99	197,30	139,97		
	po 2 h	143,68	93,95	93,95	92,07	144,69	113,67		
	po 2 h	88,42	71,84	77,37	85,50	72,34	79,09		
	po 24 h	1348,40	1149,45	1105,24	1171,56	1392,61	1233,45	10,40	128,32
vzorek 8	po 2 h	88,42	121,58	66,31	105,23	78,92	92,09		
	po 2 h	82,89	82,89	88,42	65,77	92,07	82,41		
	po 2 h	77,37	66,31	121,58	72,34	85,50	84,62		
	po 24 h	994,72	1083,14	1105,24	817,88	862,09	972,61	13,25	128,89
vzorek 11	po 2 h	77,37	77,37	98,65	92,07	85,50	86,19		
	po 2 h	82,89	105,00	138,11	65,77	59,19	90,19		
	po 2 h	33,16	66,31	78,92	59,19	39,46	55,41		
	po 24 h	920,73	1183,80	1262,72	868,12	736,58	994,39	22,24	221,19
vzorek 13	po 2 h	116,05	154,73	131,53	131,53	164,42	139,65		
	po 2 h	77,37	464,20	105,23	98,65	124,96	174,08		
	po 2 h	93,95	464,20	92,07	98,65	118,38	173,45		
	po 24 h	1149,45	1547,34	1105,24	1105,24	1370,50	1255,56	15,67	196,72

## **Příloha 6**

## Klasická metoda (mezera mezi vodní hladinou a testovanou textilií 30 mm)

Vzorky:	Množství páry prošlé vzorkem [g/m <sup>2</sup> ]							variační koeficient [%]	směrodatná odchylka [g/m <sup>2</sup> ]
		test 1	test 2	test 3	test 4	test 5	průměrná hodnota		
vzorek 1	po 2 h	52,61	39,46	46,04	26,31	39,46	40,78		
	po 2 h	39,46	46,04	52,61	52,61	46,04	47,35		
	po 2 h	52,61	46,04	39,46	52,61	46,04	47,35		
	po 24 h	553,31	503,01	528,16	503,01	503,01	518,10	4,34	22,50
vzorek 3	po 2 h	13,15	32,88	19,73	26,31	0,00	18,41		
	po 2 h	6,58	46,04	6,58	111,80	0,00	34,20		
	po 2 h	13,15	32,88	13,15	105,23	13,15	35,51		
	po 24 h	125,75	427,56	150,90	930,57	50,30	337,02	107,19	361,24
vzorek 5	po 2 h	59,19	46,04	39,46	65,77	39,46	49,98		
	po 2 h	151,26	32,88	52,61	39,46	46,04	64,45		
	po 2 h	46,04	46,04	32,88	32,88	39,46	39,46		
	po 24 h	1025,96	499,83	499,83	552,44	499,83	615,57	37,45	230,54
vzorek 8	po 2 h	59,19	59,19	46,04	59,19	39,46	52,61		
	po 2 h	39,46	39,46	92,07	39,46	26,31	47,35		
	po 2 h	46,04	52,61	72,34	72,34	26,31	53,93		
	po 24 h	578,75	605,05	841,81	683,97	368,29	615,57	27,96	172,10
vzorek 11	po 2 h	65,77	52,61	39,46	26,31	105,23	57,87		
	po 2 h	32,88	19,73	26,31	39,46	157,84	55,24		
	po 2 h	6,58	6,58	13,15	19,73	105,23	30,25		
	po 24 h	420,91	315,68	315,68	341,99	352,11	349,27	12,36	43,16
vzorek 13	po 2 h	32,88	46,04	46,04	39,46	32,88	39,46		
	po 2 h	39,46	0,00	39,46	26,31	46,04	30,25		
	po 2 h	59,19	85,50	52,61	59,19	39,46	59,19		
	po 24 h	503,01	503,01	528,16	477,86	452,71	492,95	5,82	28,68